

В. Н. Котляев

ГЕОЛОГИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
УРАНА

ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ

В. Н. КОТЛЯР

ГЕОЛОГИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

*Допущено
Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для геологоразведочных вузов и факультетов*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЕ НЕДР
МОСКВА 1961

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга «Геология и генетические типы промышленных месторождений урана» предназначена в качестве учебного пособия для студентов геологических вузов, в частности для специальности «Геология и разведка редких и радиоактивных элементов», и составлена в соответствии с требованиями учебной программы. В книге излагаются современные представления о геологии урана, приводится краткая характеристика наиболее распространенных генетических типов урановых месторождений, особенностей их проявлений, условий образования и поисковых признаков. Однако ее не следует рассматривать как сводку по урановым месторождениям. Материалы по некоторым типам месторождений, ранее не описанным или слабо охарактеризованным в литературе, здесь даются сжато или о них только упоминается.

Лекции, составляющие содержание книги, читались в течение ряда лет в Московском институте цветных металлов и золота и в 1958 г. в Нанкинском университете (КНР), а также в 1957 г. на курсах повышения квалификации геологов.

В них обобщен большой фактический материал по главным месторождениям урана. Кроме материалов 1-й и 2-й конференций по мирному использованию атомной энергии, проходивших в 1955 и 1958 гг. в Женеве, при составлении книги широко использована советская и зарубежная литература, опубликованная за последние годы, включая частично материалы 21-й сессии Международного геологического конгресса в 1960 г.

Несомненно, что при издании большого количества литературы по геологии урана некоторые вопросы, освещенные в настоящей книге, к моменту ее выпуска в свет потребуют дальнейшего развития и дополнения. Однако отсутствие до сих пор

каких-либо учебных пособий для вузов по рассматриваемому вопросу требует быстрее издания книги, которая в какой-то мере должна восполнить этот пробел, а также будет полезна для геологов, работающих в области геологии урановых месторождений.

Автор учел многие замечания рецензентов, прочитавших работу в ее первом варианте. Особенно ценные замечания и предложения сделаны А. Г. Бетехтиным, П. М. Татариновым, А. А. Якжиным, В. И. Красниковым, Я. Д. Готманом, Ю. А. Араповым и редактировавшим книгу С.Ф. Луговым. Всем этим товарищам, а также просматривавшим отдельные главы работы И. Н. Зубреву, М. Ф. Стрелкину и другим, автор приносит свою искреннюю благодарность.

Глава первая

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

НЕКОТОРЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Уран как химический элемент был открыт немецким ученым Клапротом в 1798 г. в виде урановой смолки и назван в честь планеты Уран. Однако металлический уран был получен лишь в 1914 г. химиком Билли путем восстановления хлористого урана при помощи натрия.

До 1914 г. уран использовался главным образом для получения радия, а также в стекольном производстве, при изготовлении газовых горелок и т. п. В связи с ограниченным его применением геохимические и другие свойства металла к этому времени были изучены слабо. После открытия свойств урана, связанных с получением атомной энергии, он как элемент стал предметом специальных углубленных исследований, что и привело к выяснению его особенностей.

В истории использования урана выделяются четыре периода: первый связан с применением его преимущественно в стекольном производстве; второй — с получением радия; третий — с применением урана для военных целей; четвертый — для получения энергии и использования ее в мирных целях.

В современном периоде применения урана он имеет огромное значение как источник получения ядерной энергии.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УРАНА

Как известно, уран располагается в третьей группе периодической системы элементов Д. И. Менделеева, входя в состав ряда актинидов. Этот ряд включает актиний, торий, протактиний, уран и трансурановые элементы.

Уран обладает высоким атомным весом 238,07; его порядковый номер 92.

В природе известно несколько изотопов урана: 234, 235, 238, которые обладают свойством самопроизвольного распада.

В чистом виде уран представляет собой серебристо-белый металл с голубоватым оттенком. Удельный вес его 19,05. Температура плавления 1133°. В свободном состоянии он получается путем электролиза из солей, в частности, из азотнокислого уранила (UO_2NO_3).

Уран известен в природе в четырех- и шестивалентной формах. В лабораторных условиях получен также двух-, трех- и пятивалентный уран.

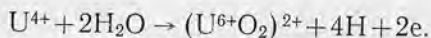
Важным свойством урана является его химическое сродство с кислородом, с которым он образует различные соединения.

Наиболее распространен в природе ион четырехвалентного урана, устойчивый в восстановительной обстановке. При экзогенных процессах такие условия часто создаются в присутствии органического вещества.

Четырехвалентный уран имеет большой размер ионного радиуса ($0,97 \text{ \AA}$) и образует при эндогенных процессах простые окислы — уранинит UO_2 , бреггерит $(\text{UTh})\text{O}_2$ и другие, а также сложные соединения с железом, торием, титаном. Он входит в виде изоморфной примеси в состав тантало-ниобатов, циркона, монацита и ряда других минералов.

Окись четырехвалентного урана U^{4+}O_2 трудно растворима в воде. По Р. М. Гаррелсу, константа диссоциации для реакции $\text{U}^{4+}\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{U}^{4+} + 4\text{OH}^-$ составляет при 25° и давлении в 1 атм лишь 10^{-52} и мало изменяется при возрастании температуры до 120° . Эта устойчивость четырехвалентного урана в восстановительных условиях и объясняет преобладающую роль в природе уранинита и урановой смолки в качестве первичных минералов. Уран обладает амфотерными свойствами и в кислой среде ведет себя как слабое основание, а в щелочной — как слабая кислота.

Соединения четырехвалентного урана характерны для ряда эндогенных и экзогенных месторождений, формирующихся в восстановительных условиях. Для высокотемпературных гидротермальных месторождений, в отличие от низкотемпературных и экзогенных, наиболее типична ассоциация урана с торием. Вследствие близости ионных радиусов четырехвалентного урана ($0,97 \text{ \AA}$) и кальция ($0,99 \text{ \AA}$) четырехвалентный уран иногда присутствует в таких кальцийсодержащих минералах, как сфен и апатит. Ион четырехвалентного урана в водных растворах легко окисляется с образованием иона уранила по следующей схеме:



В. Е. Мак-Келви, Д. Л. Эверхард и Р. М. Гаррелс считают, что четырехвалентный уран устойчив примерно в тех же условиях, что H_2S , HS^{1-} и S^{2-} , а шестивалентный — совместно с SO_4^{2-} и HSO_4^{1-} .

Шестивалентный уран обычно представлен ионом уранила UO_2^{2+} , образующим с кислотами соли, а с водой — соединение $[U(OH)_4]^{2+}$ желтого цвета. Ионный радиус шестивалентного урана, по В. М. Гольдшмиту, составляет 0,80 Å. Легкая растворимость его сульфатных и карбонатных соединений вызывает широкую миграцию урана в поверхностных условиях.

Соединения шестивалентного урана отличаются легкой растворимостью в водных растворах, так как ион $(U^{6+}O_2)^{2+}$ с большим анионом связан непрочно. Эти соединения представлены рядом минералов преимущественно экзогенного происхождения типа $(Me^{1+})_2(U^{6+}O_2)_2 \cdot 2(R^{5+}O_4)^{3-}$, где Me^{1+} или Me^{2+} легко замещаются в результате обменных реакций без разрушения устойчивого комплекса $(U^{6+}O_2)^{2+}(R^{5+}O_4)^{3-}$. Для большинства этих соединений характерны желтые, зеленовато-желтые, оранжевые и коричневые цвета.

Способность к широкой миграции в поверхностных условиях вызывает появление широко распространенных в природе ореолов рассеяния урана в почвах, растительности и водах. На этой весьма важной особенности разработан целый ряд методов поисков урановых месторождений.

Важной геохимической особенностью урана является его способность легко восстанавливаться из шестивалентного состояния в четырехвалентное. Такое восстановление может происходить как в эндогенных, так и в экзогенных условиях, в частности, в присутствии сероводорода. Изменение валентного состояния с образованием комплексных соединений является причиной переноса урана в различных химических условиях.

В виде иона уранила уран устойчив в кислых растворах, но может давать комплексные соединения с карбонатами, устойчивые в щелочной среде при $pH \geq 7$. Таким образом, уран в шестивалентном состоянии может переноситься в кислых, нейтральных и щелочных водных растворах. Окисел UO_3 легко переходит в практически нерастворимую гидроокись $UO_2(OH)_2$ или образует трудно растворимые соли урановой кислоты (уранаты). В кислотах они легко растворяются с образованием зеленовато-желтых солей иона $(UO_2)^{2+}$ (уранила).

Существенное значение в геохимии урана имеет и изучение изотопного состава радиогенных элементов, в частности радиогенного свинца (Pb^{206}), распространение которого в ореолах может указывать и на распространение урана.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УРАНА В ЗЕМНОЙ КОРЕ

По данным А. П. Виноградова, среднее содержание урана в земной коре составляет $2,6 \cdot 10^{-4}$, близкое содержаниям мышьяка — $2 \cdot 10^{-4}$, молибдена — $1,7 \cdot 10^{-4}$, серебра — $2 \cdot 10^{-5}$, платины — $5 \cdot 10^{-7}$, ртути — $6 \cdot 10^{-6}$.

Уран широко распространен в горных породах. Содержание его в породах зависит от минералогического их состава и, по А. П. Виноградову, характеризуется следующими средними данными:

кислые породы (граниты, липариты и др.)	$3,6 \cdot 10^{-4}$;
средние породы (диориты и андезиты)	$1,3 \cdot 10^{-4}$;
основные породы (базальты, габбро, диабазы)	$3 \cdot 10^{-5}$;
осадочные породы (глины и сланцы)	$3,2 \cdot 10^{-4}$.

В горных породах присутствие урана обусловлено наличием в них минералов циркона (особенно с такими его разновидностями, как малакон, циртолит), сфена, апатита, монацита, пирохлора, ксенотима, ортита и др. Известны также граниты, где в качестве аксессуаров встречаются уранинит, тантало-ниобаты или титанаты урана (давидит, браннерит), торит, торианит и др. *Содержание урана обычно увеличивается от ранних к поздним членам магматических серий, представленным кислыми и щелочными породами* и характеризующим собой поздние стадии развития подвижных зон. Магматические образования поздних стадий магматических циклов наиболее благоприятны для поисков эндогенного уранового оруденения.

В связи с этим получает объяснение то обстоятельство, что случаи ассоциации урановых месторождений с основными и ультраосновными породами редки. Месторождения урана чаще встречаются в ассоциации с гранитоидными породами и особенно с кислыми и щелочными дифференциатами магматических комплексов. Последние нередко представлены малыми трещинными интрузивами кислых калиевых гранитов, гранофиоров, аляскитов, аплитовидных гранитов, а также кварцевых, щелочных и нефелиновых сиенитов. В результате проведенных исследований установлено увеличение содержания урана в гранитоидах кислого ряда с увеличением в нем кремнезема и калия.

По данным Д. Нейерберга, уран может находиться в изверженных породах в следующих формах:

- 1) в виде самостоятельных урановых минералов;
- 2) в породообразующих минералах, где в небольшом количестве он замещает катионы или располагается в решетках структур минералов;
- 3) в состоянии катионного обмена;
- 4) в адсорбированном состоянии на поверхности кристаллов и внутри них по трещинам;
- 5) в растворенном виде в жидких включениях;
- 6) в растворе межзерновой жидкости.

Урановые минералы, присутствующие в породах в индивидуализированном виде, обычно представлены четырехвалентными его соединениями; например, бетафитом, уранинитом и другими, являющимися аксессуарами, тонко распределенными в породе. Такие минералы обычно имеют магматическое или постмагма-

тическое (пневматолитовое или гидротермальное) происхождение.

Замещение катионов породообразующих минералов ураном происходит в минералах, структура которых аналогична структуре урановых минералов, например, в торите. В таких минералах, как плагиноклаз и кварц, уран иногда находится во включениях урансодержащих аксессуариев, располагающихся по трещинкам и кристаллографическим разрывам, по структурам двойникования, а также по зональным, линейным и мозаичным структурам.

Наибольшее количество урана в горных породах обычно связано с цирконом, а также с монацитом, сфеном, ксенотимом, ортитом, апатитом; меньшее — с темноцветными, в частности, с железосодержащими минералами и незначительное количество — с полевыми шпатами и кварцем.

Присутствие урана в состоянии катионного обмена предполагается также в цеолитах, поскольку в структуре последних он находиться не может. Считают, что в таком виде уран иногда присутствует в монтмориллоните. Адсорбированный уран установлен радиографическим методом в тонких пленках вторичных минералов. Присутствие растворенного урана допускается теоретически.

От форм нахождения урана в породе и их количественных соотношений зависит его способность к реакциям с различными веществами в растворах. В связи с этим можно полагать, что подвижным является уран, присутствующий в шестивалентной форме, адсорбированный на поверхности кристаллов, находящийся в состоянии катионного обмена, а также растворенный в жидких включениях и в межзерновой жидкости. Уран, присутствующий в изверженных породах в иных формах, например, входящий в решетки структур других минералов в виде изоморфной примеси, является устойчивым. Обычно он не принимает участия в реакциях, происходящих в растворах, циркулирующих в горных породах. Выщелачивание урана из пород и его вынос растворами также зависят от проницаемости породы и степени ее выветрелости, состава слагающих породу минералов, химической активности вод, омывающих породу, гидродинамических условий и силы сцепления сорбированного урана.

Уран широко распространен в осадочных породах. Повышенные содержания его наблюдаются в темных глинистых сланцах, битуминозных породах, фосфоритах и других разностях осадочных пород, содержащих значительное количество органических веществ. Повышенное содержание урана, а также и тория, характерно для многих терригенных образований, особенно для древних базальных конгломератов и песчаников. Некоторые из указанных осадочных пород содержат настолько повышенные количества урана, что рассматриваются как потенциальные источники получения металла в будущем. Логично предполо-

жить, что при определенных условиях уран из осадочных пород может выноситься циркулирующими растворами различного происхождения и в отдельных случаях в результате этого могут формироваться промышленные его скопления.

О ПОВЕДЕНИИ УРАНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Как уже отмечалось, в магматических сериях происходит обогащение ураном кислых и щелочных комплексов горных пород, характерных для поздних этапов развития подвижных складчатых зон. Для магмы характерны низкие концентрации урана, который присутствует в ней в виде четырехвалентного иона и обычно еще не образует ни самостоятельных минералов, ни изоморфных примесей в порообразующих минералах.

Установлено, что уран концентрируется в магме преимущественно на поздних стадиях ее дифференциации, причем сначала он фиксируется лишь в виде незначительной изоморфной примеси в аксессуарных минералах, таких, как циркон, апатит, сфен, ксенотим и др. При дальнейшем развитии дифференциации, по мнению В. Е. Мак-Келви, Д. Л. Эверхарда и Р. М. Гаррелса, большая часть урана выпадает уже в виде самостоятельных минералов в условиях пегматитового процесса, а меньшая его часть входит в виде изоморфных примесей в состав аксессуаров.

На еще более поздних стадиях остывания магмы уран переходит из четырехвалентного в шестивалентное состояние в связи с развивающимися процессами окисления. В этом состоянии он легко переходит в водные гидротермальные растворы. Примечательно, что ассоциация урана с торием, который встречается только в четырехвалентном состоянии, на этом этапе прекращается. В дальнейшем развитии послемагматического процесса уран образует соединения, свободные от тория.

Наиболее важные промышленные концентрации урана выделяются из гидротермальных растворов преимущественно в среднетемпературных условиях и сравнительно неглубоко от поверхности.

Способность перехода вблизи поверхности четырехвалентного урана в шестивалентный обуславливает легкую его растворимость и является причиной образования, в соответствующих условиях, зоны окисления, достигающей местами интенсивного развития и значительной глубины. Легкая выщелачиваемость урановых соединений из рудных скоплений и горных пород, в частности, из гранитоидных пород, а также широкая миграция его в поверхностных условиях являются основной причиной образования инфильтрационных и осадочных месторождений урана. Таким путем обычно формируются весьма крупные по запасам, но сравнительно бедные по среднему содержанию оса-

дочные месторождения урана. Вместе с тем в результате процессов инфильтрации и диагенетических преобразований возможно также образование месторождений богатых руд.

Уран может переноситься и механическим путем в виде таких устойчивых урансодержащих минералов, как шералит, джалмаит, урансодержащие тантало-ниобаты, титанаты, в частности, браннерит и др. Более сложен вопрос о возможности механического переноса уранинита, отличающегося в поверхностных условиях легкой растворимостью. Однако можно себе пред-

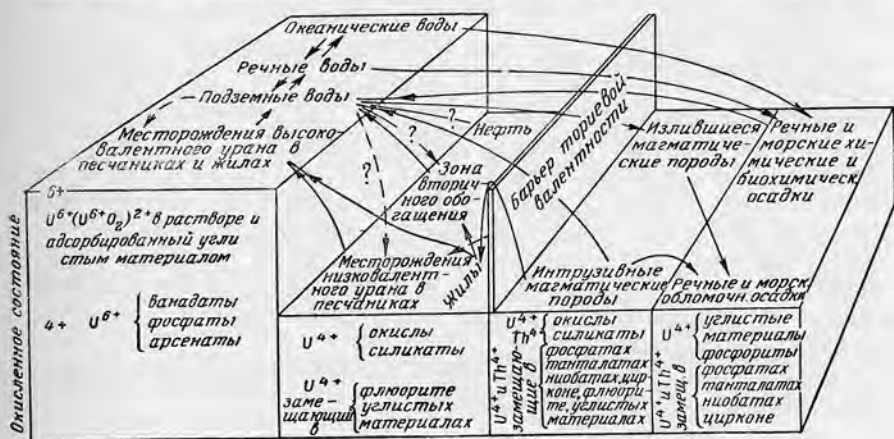


Рис. 1. Схема наиболее важных геохимических особенностей урана (по В. Е. Мак-Келви, Д. Л. Эверхарду и Р. М. Гаррелсу)

ставить, что в условиях холодного, полярного или сухого аридного климата, по-видимому, такой перенос также возможен. Стиси, в частности, описал находки уранинита в черных магнетитовых песках.

Наконец, в стадии эпигенеза и при метаморфизме, по всей вероятности, также происходит миграция урана и обогащение им некоторых участков и горизонтов осадочных пород. Таким путем, в частности, образовались некоторые крупные осадочно-метаморфогенные месторождения. В. Е. Мак-Келви, Д. Л. Эверхард и Р. М. Гаррелс дают следующую схему наиболее важных геохимических особенностей урана (рис. 1).

Таким образом, процессы образования урановых месторождений, в большой мере зависящие от геохимических особенностей урана, достаточно сложны и разнообразны.

НЕКОТОРЫЕ ОБОБЩЕНИЯ ПО ГЕОХИМИИ УРАНА

1. Четырех- и шестивалентные соединения урана характеризуются различным поведением в земной коре. Четырехвалентные соединения урана обнаруживают сходство с ториевыми,

в связи с чем в глубинных условиях, в гранитоидах и пегматитах U и Th часто присутствуют совместно, образуя одни и те же минералы. В гидротермальных и экзогенных условиях они обычно разделяются; вместе с тем торий иногда встречается в гидротермальных месторождениях.

Миграционная способность соединений шестивалентного урана выше, чем соединений тория.

2. Уран связан с кислыми и щелочными породами.

3. Уран связан с поздними дифференциатами магмы, что объясняет также часто наблюдающуюся связь его с Ti, Ta, Nb и редкими землями.

4. Урану свойственна широкая миграция при экзогенных процессах с образованием зон окисления, осадочных, инфильтрационных месторождений и широких ореолов рассеяния.

5. Уран способен входить в виде примеси в целый ряд минеральных соединений, при распаде которых он может концентрироваться в виде вторичных гипергенных образований. При этом он не только входит в решетки минералов, образуя изоморфные смеси, но часто находится в виде мельчайших включений урановых минералов в других минералах (подвижный легко выщелачиваемый уран) или присутствует в растворах жидких включений.

6. Уран способен образовывать ураноорганические соединения в углях, сланцах, асфальтитах и т. п.

ГЛАВНЫЕ МИНЕРАЛЫ УРАНА

В настоящее время известно более 150 минералов, содержащих уран, причем многие из них открыты лишь в последнее десятилетие. Едва ли можно сомневаться, что в дальнейшем будут открыты новые минералы.

Важной особенностью урана, объясняющей геохимическими свойствами металла, является его тесное сродство с кислородом и отсутствие такого сродства с серой. В связи с этим минералы урана отличаются постоянным присутствием в их составе кислорода. С другой стороны, уран вовсе не образует соединений с серой — сульфидов, столь типичных для гидротермальных месторождений, хотя в гипергенных условиях он иногда присутствует в виде сульфатов. Не образует он также и соединений с хромом, вольфрамом, оловом, селеном, теллуrom, платиноидами, германием и др. Уран неизвестен и в самородном виде.

В зависимости от содержания урана в минералах они разделяются на собственно урановые и урансодержащие. Последние отличаются невысоким количеством урана, присутствующего в виде изоморфной или тонкой механической примеси, либо в виде твердого раствора, либо в сорбированном состоянии.

По валентности урана, входящего в состав минералов. В. Г. Мелков различает три группы урановых минералов:

1. Минералы, образованные в основном четырехвалентным ураном, например сложные окислы: браннерит, давидит, тантало-ниобаты и др.

2. Минералы, в составе которых принимают участие совместно четырех- и шестивалентный уран, например простые окислы — уранинит, урановая смолка, ураноторианит, гидросиликаты — ненадкевит и др.

3. Минералы, образованные шестивалентным ураном, к которым относятся многие гидроокислы урана, уранаты, силикаты, сульфаты, карбонаты, арсенаты, ванадаты, фосфаты и др.

Минералы первой группы характерны преимущественно для магматических и пегматитовых месторождений, минералы второй группы встречаются главным образом в гидротермальных, а также в осадочных и отчасти в метаморфогенных месторождениях, и минералы третьей группы — в экзогенных месторождениях и особенно в зоне окисления.

Приведем краткую характеристику важнейших и наиболее часто встречающихся урановых и ураносодержащих минералов. При этом сначала рассмотрим наиболее важную группу окислов урана, затем группу гидроокислов и силикатов, далее группу соединений урана, встречающихся преимущественно во вторичных образованиях и, наконец, группы сложных окислов и других минералов, где уран присутствует в основном в виде примеси.

ОКИСЛЫ

Уранинит — UO_2 (упрощенная формула). Обычны примеси ThO_2 , UO_3 , PbO и TR . Содержание UO_2 36—75%; UO_3 22—56%. Содержание примесей $PbO + TR < 10\%$, но известны разновидности с содержанием PbO 20,6% и TR 16%. Содержание Th до 11,4%. Отношение UO_2 к UO_3 равно от 4 до 0,1. А. Г. Бетехтин рассматривает присутствие UO_3 как результат окисления UO_2 , на что указывает более высокое содержание UO_3 в наружных зонах кристаллов. По В. Г. Мелкову, формула минерала следующая: $k(U, Th)O_2 \cdot UO_3 \cdot mPbO$.

Обогащенные Th ураниниты характерны для пегматитов, бедные Th ураниниты — для гидротермальных образований.

Уранинит кристаллизуется в кубической сингонии и имеет гексаоктаэдрический вид симметрии. Цвет черный. Непрозрачный. Твердость 5—6. Удельный вес 6,62—9,7. Является минералом гидротермальных образований относительно высоких температур. Легко подвергается химическому и механическому выветриванию и обычно не дает россыпей за исключением областей больших высот и морозного и пустынного выветривания.

Разновидности — бреггерит с повышенным содержанием тория (до 14%), клеветит и нивейт с повышенным содержанием редких земель (до 16%), а также Y.

Урановая смолка — $k\text{UO}_2 \cdot l\text{UO}_3 \cdot m\text{PbO}$, где $k = 0,44—5,0$ при $i = 1$. Между UO_2 и UO_3 существует непрерывный ряд соединений.

Минерал колломорфного строения. Кристаллы неизвестны. Содержание Th 1—1,5%. Твердость 3—5. Цвет черный. Непрозрачный. Образует почковидные, плотные натечные агрегаты. Характерен для гидротермальных месторождений; образуется также в условиях гипергенеза при формировании осадочных пород и в результате процессов инфильтрации. Известны псевдоморфозы по ураниниту.

Многие исследователи рассматривают урановую смолку как колломорфную разновидность уранинита.

Урановые черни — $k(\text{U}, \text{Th})\text{O}_2 \cdot l\text{UO}_3 \cdot m\text{PbO}$, где $k = 0,08—0,44$ при $l = 1$ или, по В. Г. Мелкову, $\text{UO}_{2,70-2,92}$. Строение агрегатов рыхлое. Кристаллы неизвестны. Агрегаты обычно встречаются в виде корочек и примазок.

Разновидности: остаточные черни, содержащие $\text{ThO}_2 = 3—8\%$. Встречаются в виде прожилков или псевдоморфоз по урановой смолке или ураниниту. Образуются в процессах окисления четырехвалентного урана. Содержание UO_2 до 40%, UO_3 9—40%. Регенерированные черни — не содержат ThO_2 . Образуются в процессах восстановления шестивалентного урана. Примесей практически не содержат. Легко растворяются в кислотах.

Охарактеризованные окислы урана имеют важнейшее промышленное значение и входят в состав руд многих типов месторождений.

ГИДРООКИСЛЫ И УРАНАТЫ

Здесь входят простые водные окислы шести- и четырехвалентного урана, а также сложные окислы, которые рассматриваются отдельными исследователями как водные уранаты различных металлов.

Минералы представляют собой непрерывный ряд соединений $\text{UO}_3—\text{PbO}—\text{H}_2\text{O}$, усложненных добавочными катионами бария, кальция, натрия, висмута. Содержание UO_3 в простых гидроокислах 87,5—91,4%, в сложных 65,45—82,8% и только в ураносферите 52,7%. Цвет желтый, оранжево-желтый, красно-бурый, иногда черный, черно-фиолетовый (янтинит). Блеск смолистый, алмазный или жирный. Кристаллические формы редки и выражены удлиненно-таблитчатыми, пластинчатыми, пирамидальными кристаллами. Чаще образуют корковые, скрытокристаллические скопления. Нередки псевдоморфозы по ураниниту и урановой смолке. Обычно образуются в результате раз-

вятия процессов окисления ранней стадии, но некоторые известны и как гипогенные гидротермальные образования.

Наиболее распространенными минералами являются:

Янтинит — $2\text{UO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$? Сингония ромбическая. Твердость 2—3. Цвет черно-буро-фиолетовый. Блеск полуметаллический.

Беккерелит — $3\text{UO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая. Твердость 2—3. Цвет янтарно-желтый. Блеск смолистый. По составу выделяются: Pb-беккерелит и Ba-беккерелит.

Скупит — $4\text{UO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая. Вид симметрии бипирамидальный. Цвет лимонно-желтый. Блеск алмазный.

Среди сложных гидроокислов урана или водных уранатов известны соединения с общей формулой $k\text{RO} \cdot m\text{UO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $R = \text{Pb}, \text{Na}, \text{Ba}, \text{Ca}, \text{Cu}, \text{Bi}, \text{K}$.

К сложным гидроокислам урана относятся:

Кюрит — $2\text{PbO} \cdot 5\text{UO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая. Цвет красно-бурый.

Ураносферит — $\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{UO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Цвет оранжево-желтый. Образует волокнисто-сферолитовые агрегаты.

Фурмарьерит — $\text{PbO} \cdot 4\text{UO}_3 \cdot 7\text{—}8\text{H}_2\text{O}$. Цвет красный. Образует таблитчатые агрегаты.

Гидроокислы шестивалентного урана более устойчивы, чем окислы урана. Поэтому они весьма часто встречаются в зоне окисления эндогенных месторождений, бедных сульфидами.

СИЛИКАТЫ И ГИДРОСИЛИКАТЫ

Процесс разрушения урановой смолки или уранинита, связанный с выносом урана, часто не ограничивается образованием гидроокислов, а идет дальше и сопровождается образованием силикатов с выносом урана. *Такие процессы чаще наблюдаются в условиях гипергенеза при повышенной щелочности вод и ограниченной их циркуляции. Иногда они также происходят в эндогенных гидротермальных условиях.* При этом привносятся кремнезем, а также некоторые катионы, в частности, натрий.

Отличительные особенности силикатов урана — игольчатый, радиально-лучистый облик кристаллов и образование геля при растворении минералов в соляной кислоте.

Среди силикатов урана выделяют группу минералов, отвечающую по составу нормальным двойным водным силикатам с формулой: $R(\text{UO}_2)_2(\text{Si}_2\text{O}_7) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $R = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Pb}, \text{Bi}$.

Наиболее распространенными силикатами урана являются: **Складовскит** — $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2(\text{Si}_2\text{O}_7) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая. Цвет лимонно-желтый. Обычно образует войлокоподобные, радиально-лучистые агрегаты и псевдоморфозы по ураниниту и урановой смолке. $Nm = 1,635$ и $1,642$. Твердость 3. Спайность совершенная по (100) и (110).

Уранофан — $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{Si}_2\text{O}_7) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ¹. Сингония ромбическая. Цвет соломенно-желтый. Образует налеты, корки.

К группе основных силикатов и ортосиликатов относятся:

Соддит — $5\text{UO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая. Цвет желтый и зелено-желтый. Образует радиально-лучистые и плотные агрегаты. $Nm = 1,666 - 1,680$.

Казолит — $\text{PbO} \cdot \text{UO}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Сингония моноклинная. Цвет буро-желтый. Образует радиально-лучистые порошкообразные плотные скопления. Твердость 4—5. Блеск жирный. $Nm = 1,910$.

Коффинит — $\text{USiO}_4(\text{OH})_4$?. Содержание UO_2 46,37—68,29%. Сингония тетрагональная. Образует сплошные землистые или тонкокристаллические агрегаты. Удельный вес 5,1. Данных о твердости и спайности нет, так как минерал изучен еще недостаточно. Цвет черный. Непрозрачный. В HCl разлагается с образованием студня. Встречается в некоторых месторождениях, в частности связанных с асфальтитами, имеющих важное промышленное значение. По-видимому, распространен шире, чем представлялось ранее.

Ненадкевит — водный силикат непостоянного состава $(\text{U}^{+4}, \text{Y}, \text{Ce}, \text{Th})\text{U}^{6+}(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Pb})[\text{SiO}_4]_2[\text{OH}]_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Содержание UO_2 0,6—21,72%, UO_3 30,94—58,01%. Образует плотные массы. Цвет бурый или желто-бурый. Непрозрачный. Спайность отсутствует. Метамиктный. Твердость 3—4. Удельный вес 3,56—4,81. Растворяется в разбавленных кислотах с образованием студня. Встречается в некоторых гидротермальных месторождениях.

Силикаты и гидросиликаты урана имеют довольно широкое распространение, образуя местами крупные промышленные скопления. Они возникают как при эндогенных процессах за счет смолки и уранинита, так и при процессах гипергенеза в щелочных малоподвижных растворах при отсутствии сульфидов (В. Г. Мелков).

Силикаты урана изучены еще недостаточно.

СУЛЬФАТЫ

Минералы этой группы изучены также еще слабо. Среди них выделяются простые сульфаты, имеющие состав $k\text{UO}_3 \cdot m\text{SO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и сложные — $k\text{RO} \cdot l\text{UO}_3 \cdot m\text{SO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $R = \text{Cu}, \text{Ca}$, возможно, $\text{Mg}, \text{Zn}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Na}, \text{Ni}$.

Минералы характеризуются брусковидным и удлиненно-пластинчатым обликом кристаллов. Размеры их обычно незначительные; устанавливаются эти минералы только под микроскопом. Цвет желтый, разных оттенков, иногда зеленый. Слабо

¹ По М. В. Соболевой и И. Л. Пудовкиной.

светятся в ультрафиолетовом свете. Хрупки. Растворимы в слабых минеральных кислотах, а некоторые — в воде.

К минералам данной группы относятся:

Циппеит — $2\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 4-8\text{H}_2\text{O}$. Образует порошковатые налеты. Цвет оранжево-желтый. Блеск стеклянный, матовый. $N_g = 1,615-1,736$.

Ураноконит — $3\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая. Встречается в виде корочек, налетов. Цвет лимонно-желтый. Блеск матовый. $N_m = 1,790$.

β -уранопилит — $6\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 16-17\text{H}_2\text{O}$. Форма агрегатов волосовидная. Цвет светло-желтый. Интенсивно светится в ультрафиолетовом свете. $N_m = 1,623-1,625$.

Минеральные группы сульфатов являются типичными гипергенными образованиями, ассоциируют с гипсом, ярозитом, лимонитом. Возникают исключительно в зоне гипергенеза за счет урановой черны, т. е. в условиях, где окисляются четырехвалентный уран и одновременно другие сульфаты с образованием ионов SO_4^{2-} .

Минералы данной группы имеют важное поисковое значение.

КАРБОНАТЫ

Карбонаты изучены слабо. Среди них выделяются карбонаты простые безводные, простые водные и сложные.

Ретзерфордит — $(\text{UO}_2)\text{CO}_3?$. Форма агрегатов волокнистая, цвет желтый.

Шрёкингерит — $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CaCO}_3(\text{UO}_2)\text{CO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Сингония гексагональная. Форма кристаллов слюдоподобная, чешуйчатая.

Ураноталлит — $2\text{CaO} \cdot \text{UO}_3 \cdot 3\text{CO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая, форма кристаллов изометрическая пластинчатая, цвет желто-зеленый с интенсивным свечением.

Фоглит — $2\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot \text{UO}_3 \cdot 5\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая, форма кристаллов пластинчатая или чешуйчатая, цвет зеленый. Не люминесцирует.

Диагностический признак минералов группы карбонатов — вскипание от капли HCl . Имеют важное поисковое значение.

Ретзерфордит образуется при разрушении уранинита, остальные — по силикатам и сульфатам.

ФОСФАТЫ, АРСЕНАТЫ, ВАНАДАТЫ (УРАНОВЫЕ СЛЮДКИ)

Имеют широкое распространение и являются типичными минералами зоны гипергенеза. Характеризуются составом:

$\text{R}^{2+}(\text{UO}_2)_2(\text{MO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $\text{R} = \text{K}_2, \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Cu}, \text{Ba}, \text{Mn}, \text{Fe}, (\text{UO}_2)^{2+}, \text{Pb}, \text{Bi}$, а $M = \text{P}, \text{As}$ или V .

Общие диагностические признаки: пластинчатые кристаллы, совершенная спайность по (001). Цвет желтый, зеленоватый или травяно-зеленый. Растворяются в кислотах без вскипания. Образуют сферические и чешуйчатые агрегаты. Хрупки. Твердость 2—3.

Отенит	— $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{PO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.	Цвет соломенно-желтый.
Цейнерит	— $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{AsO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.	„ изумрудно-зеленый.
Ураноспинит	— $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{AsO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.	„ соломенно-желтый.
Торбернит	— $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.	„ изумрудно-зеленый.
Тюямунит	— $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_2)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.	„ соломенно-желтый.
Карнотит	— $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.	„ „ „

Большинство урановых слюдок одноосные, отрицательные, обладают плеохроизмом в желтых и зеленых тонах. Отенит и ураноспинит люминесцируют ярким зеленовато-желтым цветом. Люминесценция ванадатов более слабая. Торбернит и цейнерит не люминесцируют.

Урановые слюдки образуются из холодных растворов при нейтрализации кислых растворов и при химических реакциях. Имеют важное поисковое значение, местами в зоне гипергенеза дают промышленные руды.

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Тухолит представляет собой органическое соединение, в состав которого входят уран (до 1%) и окись тория (8—13%). Цвет смоляно-черный. Твердость 3,5—4. Удельный вес 1,6—2,0. Хрупкий. Сгорает с образованием до 27% золы.

ОКИСЛЫ И СИЛИКАТЫ ТОРИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ УРАН

Торианит (ряд ториианита) — $k(\text{Th}, \text{U})\text{O}_2 \cdot m\text{PbO}$. Кубические кристаллы. Содержание ThO_2 до 93%, UO_2 до 14,1%. Буровато-черный с сильным алмазным блеском. Встречается в пегматитах, дайках изверженных кислых пород и сиенитов. Твердость 6,5—7. Удельный вес 8,07—9,38. Блеск смолистый.

Ураноторит — $(\text{Th}, \text{U}, \text{Fe}, \text{Ca}, \text{Pb})(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$. Содержание UO_2 7,7—10%, UO_3 9,5%, ThO_2 46—52%, сумма редких земель 1,4—1,7%. Сингония тетрагональная, кристаллы призматические, дипирамидальные. Цвет черный, буроватый, блеск стеклянный до смолистого, непрозрачный. $Nm = 1,71$. В HCl разлагается с образованием студенистого осадка.

Встречается в пегматитах и в морских россыпях.

СЛОЖНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА, ТИТАНА, ЖЕЛЕЗА, ТОРИЯ, РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ

Эта большая группа минералов широко распространена в пегматитах, некоторых высокотемпературных гидротермальных, а также метаморфогенных месторождениях.

Браннерит — $(U, Ca, Fe, Y, Th)_3Ti_6O_{16}$. Содержание UO_2 до 10,3%, UO_3 33,5%, ThO 4,1%, TiO_2 32—39%. Цвет черный или бурый. Блеск полуметаллический до смоляного. Твердость 4,5. Удельный вес 4,5—5,4. Метамиктный. Сингония тетрагональная (?) или ромбическая (?). Встречается в ураноносных конгломератах (Канада), альбититах и других породах. Важный промышленный минерал, имеющий самостоятельное значение.

Давидит — $(Fe, Ce, U)(Ti, Fe, V, Cr)_3(O, OH)_7$. Содержание суммы окислов урана 2,25—9,6%. ΣTR до 4,6%. Цвет черный. Блеск полуметаллический. Твердость 5—6. Удельный вес 4,7 (?). Метамиктный. Сингония тетрагональная. Имеет важное значение в рудах месторождений давидитовой формации.

Следующие минералы, образующие обширную группу тантало-ниобатов, часто являются урансодержащими.

Фергусонит — $(Y, Er, Ce, U)(Nb, Ta, Ti)O_4$. Содержание UO_2 до 2—6%. Сингония тетрагональная. Метамиктный. Цвет буровато-черный. Твердость 5,5—6,5. Удельный вес 5,5—5,8. Спайность слабая. Блеск полуметаллический.

Эвксенит — $(Y, Ce, Ca, U, Th)(Nb, Ta, Ti)_2O_6$. Содержание $UO_2 = 5,6—14,7\%$. Сингония ромбическая. Цвет черный, чернобурый. Твердость 5,5—7. Удельный вес 4,6—5,4? Блеск полуметаллический. Спайности нет.

Приорит — $(Y, Er, Ca, U, Th)(Nb, Ta, Ti)_2O_6$. Содержание $UO_2 + UO_3$ до 3,89%. Сингония ромбическая. Метамиктный. Цвет буровато-черный. Твердость 5,5—6. Удельный вес 4,99. Блеск алмазный.

Самарскит — $(Y, Er, Ce, U, Th, Fe)_4[(Nb, Ta)_2O_7]_3^1$. Содержание $UO_2 = 4,5—20,2\%$. Сингония ромбическая. Метамиктный. Цвет черный. Твердость 6. Удельный вес 5,6—5,8. Блеск стеклянный, смоляной.

Микролит — $(Na, Ca, U \dots)_2(Ta, Ti \dots)_2O_6(F, OH)$. Содержание UO_2 4,2%. Сингония кубическая. Метамиктный. Твердость 5,5. Удельный вес 5,4—6,4. Цвет желтый, бурый, зеленый. Блеск смоляной. С повышенным содержанием UO_3 (до 9,4%) называется джалантом.

Пирохлор — $(Na, Ca, U)_2(Nb, Ti \dots)_2O_6(F, OH)$. Содержание UO_2 4,6—5,7%. Сингония кубическая. Метамиктный. Цвет красновато-бурый, в изломе черный. Твердость 5—6. Удельный вес 4,1—5,4. Блеск стеклянный до жирного.

Бегафит — $(U, Ca, Th, Y, Ce)(Nb, Ta, Ti)_3O_9 \cdot nH_2O?$. Содержание UO_3 10—28%. Сингония кубическая. Метамиктный. Цвет буровато-зеленый до черного. Твердость 4. Удельный вес 3,7—5,0. Блеск жирный.

Тантало-ниобаты обычно встречаются в пегматитах и в россыпях, пирохлор — также и в карбонатитах.

¹ По данным А. Г. Бетехтина.

Из других урансодержащих минералов следует назвать фосфат редких земель и тория — монацит — $(\text{Ce,La,Th...})\text{PO}_4$. Обогащенная ураном его разновидность шералит содержит до 14% тория и до 2,5% урана.

Из силикатов циркония повышенные содержания урана наблюдаются в малаконе и цирколите. Последние широко развиты в месторождениях Бразилии, а также других стран.

Из неурановых минералов уран иногда содержится в гнаптите (водяно-прозрачная разновидность опала), в халцедоне, кальците, в лимоните, в стильномелане, аллофане, халькозине и некоторых других.

Некоторые обобщения по минералогии урана

1. Главнейшее значение в промышленных гидротермальных месторождениях урана имеют окислы урана: уранинит, урановая смолка и урановая чернь. В отдельных типах месторождений важное значение приобретают некоторые силикаты и гидросиликаты (ненадкевит), сложные окислы урана, титана и тория — браннерит и давидит.

2. Для пегматитовых месторождений характерно присутствие урансодержащих сложных окислов — тантало-ниобатов, титано-тантало-ниобатов, силикатов редких земель (ортита), фосфатов редких земель (монацита), силикатов титана и циркония (сфена, малакона), а также уранинита. Последний отличается от уранинита гидротермального происхождения повышенным содержанием тория.

3. Для экзогенных и в том числе осадочных месторождений характерны ванадаты, фосфаты и арсенаты урана (карнитит, туюмунит, отенит, торбернит, ураноспинит), гидросиликаты (коффинит, уранофан, казолит), урановые черни. В неокисленных рудах осадочных месторождений присутствуют также урановая смолка, коффинит, тухолит и др.

4. В осадочных россыпных месторождениях широко развиты сложные окислы, фосфаты и силикаты редких земель, циркония и другие устойчивые к выветриванию минералы.

5. В осадочно-метаморфогенных месторождениях урана оруденение представлено браннеритом, уранинитом, урановой смолкой и иногда тухолитом.

КЛАССИФИКАЦИЯ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучение урановых месторождений за последние годы показало, что они принадлежат ко многим генетическим типам. Это обуславливает различные закономерности их проявления в природе, выражающиеся в залегании и форме рудных тел, их соотношениях с вмещающими породами, составе руд и т. п.

Классификации урановых месторождений были предложены Д. И. Щербаковым, А. Г. Бетехиным, М. М. Константиновым, В. С. Домаревым, И. Г. Магакьяном, Д. Л. Эверхардом,

Д. Кречменом (для Канады), В. Г. Мелковым, Д. Я. Суражским, А. И. Семеновым и др. В большинстве случаев классификации этих авторов построены на генетическом принципе, причем некоторые из них довольно близки между собой. Вместе с тем в них имеются и существенные различия, например, в отношении подразделения классов эндогенных и экзогенных месторождений урана на различные генетические типы. Эти различия заключаются в разграничении пегматитовых и высокотемпературных гидротермальных месторождений; в частности, некоторые авторы давидитовую формацию относят к пегматитовым образованиям. В ряде классификаций не выделена группа контактово-метасоматических месторождений и совершенно условно выделены в качестве собственно инфильтрационных образований осадочные месторождения с четко представленной стадией эпигенеза. По-разному отражен такой важный фактор, как характер отложения руд: одни авторы выделяют жильные и метасоматические месторождения, другие этого не делают. Существенные различия имеются и в группировке экзогенных месторождений; это выражается как в подразделении морских и озерно-речных месторождений, так и в выделении самостоятельной группы инфильтрационных месторождений.

По иному принципу построена классификация урановых месторождений Д. Л. Эверхардом. В основу ее положен не процесс образования руд, а состав вмещающих пород. Этим же автором рекомендована другая классификация, представленная в виде таблицы, где по горизонтали показаны процессы рудообразования, а по вертикали — вмещающие породы. П. Рутье возражает против генетических классификаций, предлагая группировать месторождения по геологическим типам.

Все это свидетельствует о различном подходе авторов к существу вопроса и о различных мнениях по вопросу о происхождении некоторых важнейших групп и генетических типов урановых месторождений. В частности, диаметрально противоположные мнения высказаны о происхождении карнотитовых месторождений плато Колорадо в США, о происхождении ураносодержащих золотоносных конгломератов Южной Африки и др.

Любая классификация урановых месторождений должна учитывать все данные, вытекающие из результатов новейших исследований. Она должна быть также увязана с классификацией рудных месторождений.

Как известно, вопрос о рациональной классификации рудных месторождений в последние годы привлекает особое внимание. В классификацию В. Линдгрена, принятую во многих странах и существующую уже 50 лет, Баддингтоном и Л. Грейтоном были внесены некоторые дополнения.

П. Ниггли в 1940 г. детализировал классификацию магматогенных месторождений и предложил при этом учитывать место отложения рудоносных растворов и глубину рудоотложения.

Г. Шнейдерхен предложил новую классификацию, построенную на геотектонической основе, которая неприемлема вследствие совершенно условных допущений о главенствующем значении металлогении герцинской складчатой эпохи.

С. С. Смирнов наметил принцип новой классификации магматогенных месторождений на основе выделения тектоно-магматических комплексов, с учетом глубины рудоотложения.

П. М. Татаринов и И. Г. Магакян предложили разделить послемагматические месторождения на умеренно глубинные и близповерхностные.

Классификация Е. Е. Захарова основана на выделении рудных формаций.

В последнее время Г. С. Лабазин, В. Г. Грушевой и А. И. Семенов предприняли попытку разработать классификацию эндогенных месторождений, основываясь на их связи с магматическими комплексами подвижных зон земной коры.

Н. М. Страхов предложил классификацию осадочных месторождений, построенную на основании новых данных изучения осадочного процесса.

В конце 1955 г. вопрос о классификации рудных месторождений обсуждался на конференции Западно-Германского горнометаллургического общества в Кляусталь-Целлерфельде. Борхерд и Шнейдерхен предложили новую зональную классификацию магматогенных месторождений, учитывающую глубины расположения рудоносных очагов.

Имеются и другие классификации. Многие из них отражают результаты новейших исследований и наблюдений и соответствуют нашим представлениям о рудообразовании.

Вместе со всем сказанным нельзя не отметить, что при разработке классификации урановых месторождений в одной классификации очень трудно воплотить все имеющиеся принципы и подходы, тем более что классификация, предназначенная для использования в практических и учебных целях, должна быть особенно простой и удобной.

В связи с невозможностью полного учета всех замечаний и положений рассмотрение урановых месторождений в настоящем курсе мы будем вести на основе наиболее широко распространенной и самой простой классификации рудных месторождений, учитывая при этом основные особенности месторождений урана.

Принимая за основу классификацию урановых месторождений, предложенную А. Г. Бетехтиным, промышленные месторождения урана можно расположить в следующем порядке.

Класс I. Эндогенные месторождения урана.

Группа I. Магматические месторождения (выделяется условно)

Группа II. Пегматитовые месторождения.

Подгруппа 1. Месторождения в гранитных пегматитах.

Подгруппа 2. Месторождения в нефелинситовых пегматитах.

Группа III. Контактново-метасоматические (скарновые) месторождения.

Группа IV. Гидротермальные месторождения.

Подгруппа 1. Высокотемпературные месторождения.

Подгруппа 2. Средне- и низкотемпературные месторождения.

Класс II. Экзогенные месторождения урана.

Группа I. Месторождения выветривания.

Подгруппа 1. Зона окисления месторождений.

Подгруппа 2. Инфильтрационные месторождения.

Группа II. Осадочные месторождения.

Подгруппа 1. Месторождения в речных, озерных и болотных отложениях

Подгруппа 2. Россыпные месторождения в песках: прибрежно-морские, дельтовые и дюнные россыпи.

Подгруппа 3. Месторождения в морских отложениях.

Класс III. Метаморфогенные месторождения урана.

Группа I. Месторождения в углисто- и кремнистоглинистых сланцах.

Группа II. Месторождения в древних конгломератах.

В предлагаемой классификации урановые месторождения разделяются на классы, группы и подгруппы. Выделение рудных формаций и генетических типов месторождений дается при рассмотрении отдельных групп и подгрупп.

КЛАСС I. ЭНДОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА

В классе эндогенных месторождений урана мы подробно рассмотрим лишь три группы месторождений: пегматитовые, контактово-метасоматические и гидротермальные. Эти группы, отражающие различные этапы развития магматического процесса, далеко не равноценны между собой, но все они представлены теми или иными типичными промышленными месторождениями. О группе магматических месторождений мы ограничимся только краткими замечаниями.

ГРУППА I. МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Собственно магматические промышленные месторождения урана пока неизвестны, если не считать лопаритового месторождения, в рудах которого, кроме ниобия, титана и редких земель, содержится небольшое количество урана, а также ряда карбонатитовых месторождений пирохлора. В настоящее время многие исследователи относят последние к метасоматическим гидротермальным месторождениям. На этих месторождениях мы останавливаться не будем, так как технология их руд еще недостаточно разработана, и по существу, уран из этих месторождений пока не используется.

Следует также отметить, что в некоторых гранитах, в частности в щелочных альбито-рибекитовых гранитах Северной Нигерии, отмечается повышенное содержание пирохлора; в связи с этим среднее содержание урана в отдельных участках достигает 0,010% при содержании ниобия 0,26% (Е. С. Ларсен и Ж. Фейер). Повышенные количества урана установлены в гранитах Уайт-Маунтин в США, в Австралии, в порфирах Централ Сити и в других местах. Укажем также, что в ряде стран делались попытки извлечения урана из подобных пород. Однако стоимость этих работ на данном этапе развития техники оказалась весьма высокой. Получение урана из гранитоидных пород было бы экономически выгодно лишь при доста-

точно высоком содержании в них редких элементов и других полезных компонентов. По-видимому, освоение таких месторождений и получение из них урана — дело будущего.

ГРУППА II. ПЕГМАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Пегматитовые месторождения урана по их распространению в природе и по разнообразию состава представляют довольно обширную группу. Однако как промышленные месторождения они занимают более чем скромное место по сравнению с группой постмагматических месторождений.

На первых стадиях изучения месторождений урана в 1945—1948 гг. данной группе рудных образований придавалось большое значение. Они характеризуются низким средним содержанием и небольшими запасами металла. С открытием гораздо более крупных по запасам и богатых по содержанию металла гидротермальных и других месторождений промышленное значение ураноносных пегматитов резко сократилось. В последние же годы интерес к ним снова возрос в связи с открытием в Канаде крупного района пегматитовых месторождений с рудами повышенного содержания и со значительными запасами урана.

Геологическое положение месторождений

По составу среди пегматитовых месторождений урана можно выделить гранитные и нефелинсиепитовые месторождения. Преобладающее распространение имеют гранитные пегматиты.

Обычно пегматитовые месторождения урана встречаются среди пегматитов других типов в непосредственной связи с интрузивными массивами: простых полевошпатовых, редкометалльных, реже слюдяных. Нередко они образуют огромные поля, большие зоны или пояса. Некоторые пояса протягиваются на сотни, иногда тысячи километров, например, пегматитовый пояс северо-восточного и восточного штатов США — Мэн, Нью Гемпшир; пояс Скалистых гор штатов Северной и Южной Каролины, Колорадо и другие.

При значительной длине и ширине пегматитовых поясов ураноносные или урансодержащие пегматиты размещены в них обычно спорадически. В других случаях среди отдельных пегматитовых тел распределение оруденения обычно неравномерное: ураноносные пегматиты с более постоянным и относительно выдержанным урановым оруденением встречаются значительно реже. Спорадически размещенные ураноносные пегматиты редко рассматриваются как самостоятельные месторождения; в лучшем случае уран извлекают из их руд попутно при разработке месторождений на другие основные компоненты, например на полевой шпат, слюду, ниобий, тантал. Неравномерно размещенные ураноносные пегматиты эксплуатируются

с целью комплексной добычи различных компонентов, где уран может иметь существенное или важное промышленное значение; лишь в немногих случаях разработка таких пегматитов ведется специально на уран.

Ураноносные пегматиты известны и разрабатываются в значительных размерах в Канаде, в меньших объемах — на Мадагаскаре, в Индии, Швеции, Норвегии, в Южной и Центральной Африке, в Южной Америке и Японии. Попутная добыча урана с другими компонентами производится в ряде районов США, в Испании и в других странах.

Возраст месторождений

Гранитные пегматиты, в том числе ураносодержащие, обычно встречаются в пределах древних докембрийских щитов, нередко в пределах древних складчатых зон. Они залегают также в выступах древнего докембрийского фундамента среди более молодых отложений и в срединных массивах складчатых подвижных зон. Часто гранитные пегматиты образуют удлиненные зоны и пояса, которые протягиваются по периферии древних гранитных массивов среди вмещающих их метаморфических сланцев и гнейсов. Встречаются они и во внутренних частях массивов, особенно в апикальных, и в их кровле, обычно представленной метаморфическими породами, например гранитные пегматиты Юго-Западной Африки.

Зоны, пояса и пегматитовые поля, включающие ураноносные пегматиты, как правило, представлены многочисленными телами пегматитов различной формы и размеров, преимущественно жилеобразной. Последние часто в различной степени дифференцированы и характеризуются разным составом и текстурами. Количественные соотношения между пегматитами и вмещающими их породами также изменяются в довольно широких пределах: от интенсивного насыщения пород пегматитовым материалом (до 50% и более) до редких единичных пегматитовых жил. Некоторые пегматиты настолько тонко инъецируют вмещающие породы, что в целом рассматриваются как мигматиты, например пегматиты на месторождении Шарлебуа в провинции Саскачеван (Канада).

Пегматиты обычно залегают согласно с общим положением геологических структур района или внутренних структур интрузивных массивов: согласно их полосчатости, системам трещин и т. п.

Закономерности расположения ураносодержащих пегматитов среди других пегматитовых тел в зонах, поясах или в пегматитовых полях изучены еще недостаточно. Положение различных типов пегматитов в них зависит от тектонических условий, существовавших при их формировании, положения по отношению к интрузивному массиву, с которым они связаны, глубины эро-

зионного среза, вертикальной зональности отдельных пегматитовых тел и, что, по-видимому, особенно важно, — от состава вмещающих пород.

Возраст ураноносных пегматитовых месторождений колеблется от докембрия до мезо-кайнозоя. Преимущественное распространение среди них имеют докембрийские — верхнеархейские и протерозойские месторождения; значительно реже встречаются палеозойские месторождения, в частности, месторождения, связанные с герцинской складчатостью. Еще реже ураносодержащие пегматиты связаны с мезозойскими массивами и почти неизвестны пегматитовые месторождения урана кайнозойского возраста.

Большинство наиболее крупных промышленных месторождений урана пегматитового типа имеет докембрийский возраст. Из палеозойских и мезозойских ураноносных пегматитов уран добывается в редких случаях и обычно лишь попутно.

Связь с массивами изверженных пород

Ураноносные пегматиты обычно тесно пространственно и генетически связаны с массивами изверженных пород. Эта связь понимается таким образом, что источником пегматитовой остаточной магмы и растворов служила гранитная магма. Пегматиты располагаются в теле массива или недалеко от него в экзоконтактовой зоне. Ураноносные пегматитовые месторождения, наблюдающиеся вне всякой связи с интрузивными массивами, редки.

Как правило, интрузивные массивы, с которыми ассоциируют месторождения, представляют собой абиссальные образования. Часто, особенно в докембрийских щитах, они в той или иной мере сопровождаются явлениями мигматизации и гранитизации. В связи с резко выраженными гипабиссальными, особенно субвулканическими гранитоидными породами пегматиты не встречаются.

Состав вмещающих пегматиты пород следующий: граниты, алякситы, гранодиориты, редко тоналиты или диориты; иногда пегматиты сопровождаются и другими жильными породами, являясь обычно наиболее поздними отщеплениями. Пегматитовые месторождения урана связаны также с нефелиновыми сиенитами, присутствующими обособленно или в составе интрузивных массивов сложного строения.

Характерной особенностью пегматитов является их состав, соответствующий составу пород интрузивного массива, с которыми они генетически связаны. Например, с гранитами связаны пегматиты гранитного состава, с гранодиоритами — пегматиты гранодиоритового состава, с нефелиновыми сиенитами — пегматиты нефелинсиенитового состава и т. п. На состав ураноносных пегматитов очень большое влияние оказывает также состав пород, вмещающих интрузивные массивы.

Массивы, с которыми связаны пегматитовые месторождения, представлены очень крупными батолитами или иной формы крупными телами, обычно синтетектоническими. В связи с пост-тектоническими трещинными и малыми интрузивами пегматитовые месторождения обычно не встречаются.

Вмещающие породы

Породами, вмещающими ураноносные пегматиты, являются мигматиты и инъекционные гнейсы, различные кристаллические и метаморфические сланцы, кварциты, амфиболиты и другие. В ряде районов вмещающими являются карбонатные породы, оказывающие определенное влияние на состав пегматитов и локализацию уранового оруденения.

Как известно, по степени воздействия вмещающих пород на пегматиты А. Е. Ферсман выделил среди них две группы: пегматиты чистой линии, которые образовались без существенной ассимиляции материала вмещающих пород, и пегматиты скрещения, в образовании которых ту или иную роль играл процесс ассимиляции. Ураносодержащие пегматиты наблюдаются среди обеих выделенных групп. Наиболее интересные в промышленном отношении месторождения связаны преимущественно с пегматитами скрещения. Изучение таких месторождений в Канаде показало, что промышленное урановое оруденение в пегматитах связано с теми из них, которые залегают вблизи или среди карбонатных пород (в качестве примера можно привести месторождения района Бенкрофт в Онтарио), или среди пород, характеризующихся повышенным содержанием кальция.

В частности, Д. Модсли, изучавший руды месторождения Шарлебуа в Саскачеване, считает, что богатые ураном пегматиты более мелкозернисты и несут следы ассимиляции известкового материала. Пегматиты без следов ассимиляции обычно крупнозернистые и бедны ураном. Влияние вмещающих пород на формирование пегматитов бывает иногда настолько интенсивным, что в некоторых случаях по составу их начинают относить к пегматоидным и даже гидротермальным образованиям. С таким мнением, однако, трудно согласиться.

К пегматитовым образованиям типа пегматитов скрещения, очевидно, следует относить и ураноносные мигматиты, тонко инъецированные пегматитовым материалом. Такие пегматиты отличаются большей мелкозернистостью, что объясняется более быстрым их застыванием.

Роль геологической структуры

В образовании ураноносных пегматитов роль геологической структуры так же существенна, как и в образовании других редкометалльных пегматитов. Для концентрации ураноносных

редкометалльных пегматитов важное значение имеют трещины скальвания (на что особенно обращает внимание А. И. Гинзбург). Из двух основных структурных типов пегматитов, выделяемых им, главное значение как ураносодержащие образования имеют эпигенетические разности; шлировые же пегматиты в этом отношении, по-видимому, играют ничтожную роль. Несомненно, важное значение получают структуры расслоения и полосчатости интрузивов и мигматитов, а также структуры расланцевания в древних докембрийских породах.

Расположение и морфология пегматитовых тел

Ураноносные пегматиты чистой линии встречаются совместно с другими пегматитами и нередко слагают вместе с ними крупные пегматитовые поля и зоны. Количественное содержание в них пегматитов различных типов изменчиво. Закономерности расположения ураноносных пегматитов и рудных участков в отдельных телах выяснены еще слабо. Они зависят от ряда факторов. Так, например, в пегматитах скрещения ураноносные их разности часто располагаются в благоприятных для локализации уранового оруденения вмещающих породах, преимущественно в экзоконтактной зоне.

Форма и размеры ураноносных пегматитов различны: преобладают жильные с разнообразными осложнениями; иногда встречаются трубчатые, штокообразные и неправильные тела, например в месторождениях Норвегии и Швеции. Размеры пегматитовых тел колеблются в очень широких пределах, достигая даже размеров рудной зоны. Наряду с жилами, протягивающимися лишь на несколько метров или десятков метров при мощности около 10 см, наблюдаются жилеобразные тела, простирающиеся на сотни метров, иногда километр и более при мощности в десятки метров. Глубина их распространения также нередко достигает сотен метров; такие тела наблюдаются, например, в месторождениях Швеции.

Оценка пегматитовых месторождений зависит не только от размеров ураноносных пегматитовых тел и содержания в них урана, но также и от их количества и насыщенности ими рудной зоны. Известны рудные зоны, представленные большим числом пегматитовых тел малого или среднего размера.

Строение и текстурные особенности пегматитовых тел

В петрографии и в геологии рудных месторождений принято выделять простые и сложные пегматиты. Простые пегматиты (фаза С, по А. Е. Ферсману), представлены графическими прорастаниями кварца и полевого шпата; уранового, а также редкометального оруденения они обычно не несут. Оруденение, в том числе и урановое, как правило, приурочено к сложным дифференцированным пегматитам с многозональным строе-

нием, и является результатом метасоматического воздействия растворов, выделяющихся из магмы на более поздних стадиях формирования пегматитов. Нередко ураноносные или урансодержащие пегматиты имеют симметрично-зональное строение.

В редкометалльных тантало-ниобиевых пегматитах чистой линии урансодержащие минералы обычно располагаются в средних зонах, часто около пертит-полевошпатового или кварцевого ядра, например в пегматитах рудника Рагглез в штате Нью-Гемпшир, Намакваленда в Южной Африке, Махатсиджо на Мадагаскаре или в соседних с ним зонах, в пегматитах Юго-Западной Африки, Канады.

Распределение урановых или урансодержащих минералов обычно весьма неравномерное, спорадическое. Встречающиеся среди них крупные выделения уранинита и других урансодержащих минералов в некоторых случаях позволяют отбирать руды ручным способом и обрабатывать месторождения с низким средним содержанием урана на рудную массу (месторождения Индии, Бразилии).

В пегматитах скрещения урановые минералы встречаются в периферических или боковых их зонах, а иногда — в концевых частях жил, в участках уменьшения их мощности. В таких пегматитах устанавливается более выдержанное оборудование, чем в пегматитах чистой линии (месторождение Бенкрофт, Канада). Это же наблюдается и в пегматитизированных мигматитах месторождений провинции Саскачеван (Канада). В некоторых пегматитах урановые минералы наблюдаются в кварцевых жилках, пересекающих пегматит (месторождение Рагглез в Нью-Гэмпшире, США).

По минеральному составу можно выделить следующие подгруппы ураноносных пегматитовых месторождений:

Гранитные:

- Слюдоносные (мусковитовые и биотитовые);
- Тантало-ниобиевые и титано-тантало-ниобиевые;
- Бериллиевые;
- Литиевые;
- Кальцит-флюоритовые с магнетитом и гематитом;
- Пегматитизированные мигматиты.

Нефелинситовые:

- Пироклоровые;
- Циркониевые.

Подгруппа 1. Гранитные пегматиты

СЛЮДОНОСНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Пегматиты, разрабатываемые на слюду и уран, известны в различных странах, однако в общем такие пегматиты довольно редки.

Имеются сведения, что уранинит добывался из слюдоносных пегматитов совместно со слюдой в месторождении Абрики-Похар в Индии, совместно со слюдой и тантало-ниобатами — в месторождении Санкара в той же стране, а также в Канаде.

Выделения уранинита в пегматитах весьма неравномерные, но довольно крупные, что позволяет отбирать руду (концентрат), содержащую несколько процентов урана, вручную. Уранинит также попутно добывается при разработке мусковитовых пегматитов в Люквенгьюле в Танганьике (Восточная Африка). Пегматиты Японии, обогащенные лепидомеланом, в отдельных участках содержат свыше 0,15% урана, но в среднем на массу его содержание не превышает 0,001%.

ТАНТАЛО-НИОБИЕВЫЕ И ТИТАНО-ТАНТАЛО-НИОБИЕВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Этот тип ураноносных пегматитовых месторождений широко распространен; месторождения его в той или иной мере разрабатываются в ряде стран.

Оруденение представлено тантало-ниобатами, уранинитом, ураноторитом, торинанитом, иногда малаконом, циртолитом или пирохлором. Из других урансодержащих минералов встречаются ксенотим, ортит, сфен. В некоторых пегматитах Канады отмечен тухолит. Основная масса урана обычно получается попутно главным образом за счет уранинита, путем отбора обогащенных уранинитом концентратов, в меньшей мере — за счет переработки тантало-ниобатовых концентратов¹.

Уранинитовое оруденение в месторождениях Канады локализуется обычно в пегматитах, богатых калиевыми полевыми шпатами и кварцем, образующих, по мнению Эльсворта, сплошные массы (блоковый кварц), т. е. в участках интенсивного проявления кварцевого метасоматоза. В других месторождениях уранинит ассоциирует с мусковитом, альбитом и литиофилитом (например, месторождение Намакваленд). Такие месторождения обычно являются переходными к месторождениям слюдоносных пегматитов. В Юго-Западной Африке уранинит вместе с тантало-ниобатами приурочен к биотитовой зоне пегматитов с полевыми шпатами.

Столь же разнообразны ассоциации и тантало-ниобатов с другими минералами пегматитов. Распределение оруденения в них обычно также неравномерно. При наличии крупных выделений во время разработки месторождений применяется сортировка рудных концентратов.

¹ Эвксенитовые концентраты перерабатываются, в частности, на заводе в Айдахо, США.

БЕРИЛЛИЕВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

В собственно бериллиевых пегматитах урановые и урансодержащие минералы встречаются значительно реже. Поэтому данный тип пегматитов не всегда представляет собой объект самостоятельной разработки на уран.

Бериллиевые пегматиты разрабатываются в Канаде, где вместе с бериллом присутствуют тантало-ниобаты (эвксенит и другие минералы), иногда монацит. В пегматитах Танганьики (Экваториальная Африка) совместно с бериллом и тантало-ниобатами встречаются уранинит, ретзерфордит, монацит, а также сульфиды: пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит и др.

В штате Колорадо (США) бериллиевые пегматиты с урановыми минералами (тантало-ниобаты, уранинит) известны в месторождении Хиат (Huatt). Пегматиты здесь часто имеют зональное строение и залегают среди гранитов. Внешние зоны пород, как правило, представлены кварц-пертитовым материалом, центральная зона сложена крупными выделениями полевого шпата и кварца, промежуточные бериллиевые зоны несут урановое оруденение.

Добыча урана при разработке бериллиевых пегматитов производилась также в руднике Святой Анны (штат Мендоса, Аргентина), где уран связан с присутствием уранинита.

ЛИТИЕВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Литиевые пегматиты иногда служат объектами лишь попутной добычи урана. Уран связан с присутствующими в них в том или ином количестве уранинитом, тантало-ниобатами (например, в пегматитах провинции Онтарио (Канада) или ортитом.

К этому типу относится месторождение Боб Ингерсоль в Южной Дакоте (США). Следует отметить, что Пейдж считает пегматиты, богатые литием или натрием, менее благоприятными в отношении поисков на уран, чем пегматиты, богатые калием.

КАЛЬЦИТ-ФЛЮОРИТОВЫЕ ПЕГМАТИТЫ С МАГНЕТИТОМ И ГЕМАТИТОМ

Пегматитовые месторождения урана этого типа имеют в настоящее время наиболее важное промышленное и притом самостоятельное значение, так как разрабатываются только на уран.

Пегматиты имеют граносиенитовый состав. Строение их обычно грубозернистое, крупных и гигантских выделений полевого шпата и кварца не наблюдается.

Оруденение представлено уранинитом, ураноторитом, ортитом, а также тантало-ниобатами — эвксенитом, поликразом, пирохлором и другими минералами. Урановое оруденение ассоции-

рует с магнетитом и гематитом. Обычно присутствуют пироксен, а также темно-фиолетовый флюорит и кальцит, принимающие нередко значительное участие в составе пегматитов. Иногда уранинит наблюдается в виде прожилков в ассоциации с сульфидами — молибденитом и халькопиритом.

Примером этого типа месторождений является район Бенкрофт в Онтарио, описание которого приведем ниже. Пегматиты скрещения подобного же типа указываются в районе Рекс (Канада), где они сложены актинолитом и в меньшем количестве — апатитом, магнетитом, уранинитом, кальцитом и флюоритом.

Месторождения Бенкрофт. Данные об этих наиболее важных промышленных месторождениях урана пегматитового типа приведены Д. Бетманом¹, Л. Панцером, П. Кроссом, Л. Келли и другими исследователями.

Район месторождений расположен в хорошо освоенной части Канады, в провинции Онтарио, примерно в 240 км к северо-востоку от г. Торонто. Он находится в юго-восточной периферии ураноносного пояса, проходящего по складчатому обрамлению Канадского щита.

Район сложен докембрийскими образованиями, представленными парагнейсами, метаморфическими сланцами, амфиболитами, кварцитами и другими метаморфическими породами (рис. 2). Породы сильно дислоцированы, сложены в складки различных порядков, среди которых отмечаются и изоклинальные. Наиболее крупные складки имеют северо-восточное простирание. Широко развиты гранитные и сиенитовые интрузивы, меньше распространены диориты и метагаббро. Интрузивы метагаббро имеют более древний возраст, чем гранитные и сиенитовые. Граниты и сиениты разгнейсованы и превращены в гранито-гнейсы и сиенито-гнейсы.

В целом район характеризуется широким развитием пегматитов различного состава и залегания. Широко развиты согласные жилы в гнейсах, встречаются также секущие и неправильные тела.

Наибольшее значение имеют ураноносные пегматиты в участке Централ Лейк. Они сконцентрированы здесь преимущественно в полосе развития основных пород и известняков вдоль контактовой зоны с гранитоидными интрузивами. Пегматиты образуют рудную полосу, протягивающуюся на несколько километров при ширине в несколько сотен метров.

Породы в районе месторождения имеют восточно-северо-восточное простирание с падением преимущественно к юго-западу.

В геологическом строении месторождений Бенкрофт выделяются четыре полосы: полосу, сложенную гранито-гнейсами, полосу, представленную сиенито-гнейсами, полосу разлистованных

¹ D. Betman. West Miner and Oil Rev. North Miner, 1958, p. 44, № 4.

основных интрузивных пород с участками известняков и кварцитов и полосу гранитоидных пород (рис. 3). Отдельные пегматовые тела характеризуются жилообразной неправильной фор-

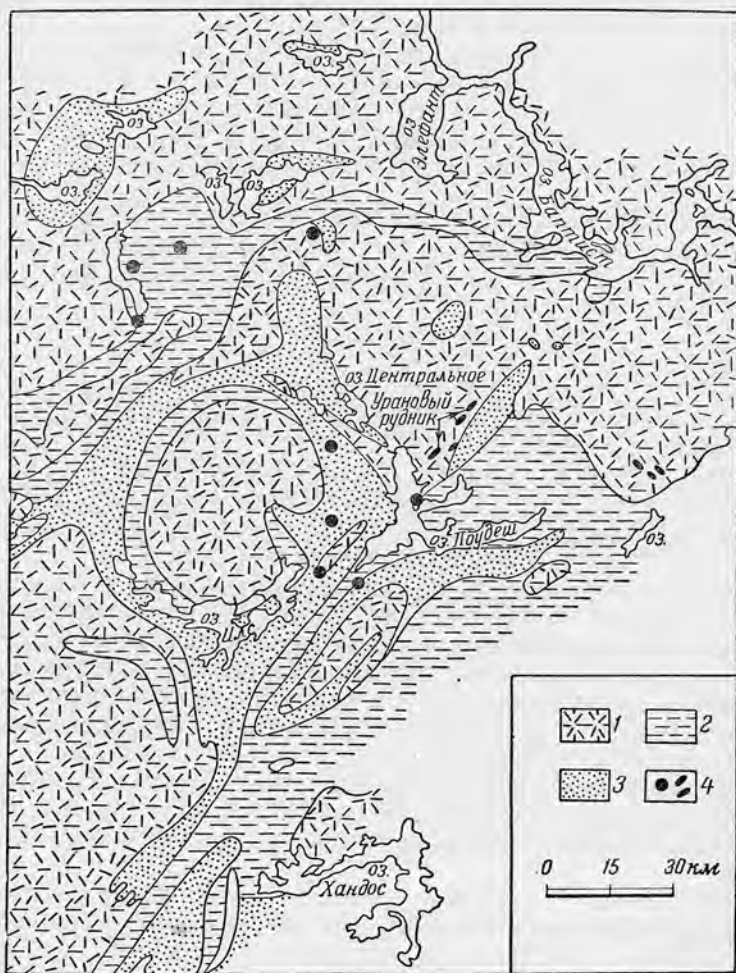


Рис. 2. Геологическая карта пегматитоносного района Бенкрофт (по Д. Д. Бетману)

1 — граниты, сиениты, гнейсы и другие породы; 2 — известняки, доломиты и парagneйсы; 3 — конгломераты, кварциты, парagneйсы; 4 — радиоактивные проявления

мой; длина их колеблется от 100 до 1000 м при мощности от 3 до 50 м. Большинство жил имеет длину менее 100 м и мощность несколько десятков сантиметров. Простираение пегматитов СВ 70°, падение на юго-восток под углами 50—60°. В отличие от вме-

щающих пород пегматитовые тела почти не дислоцированы.

Ураноносные пегматиты имеют гранитный состав, приближающийся к сиенитовому. Отмечается высокое содержание калиевого полевого шпата и сравнительно низкое содержание кварца, составляющего от 5 до 20% от общей массы. Строение рудоносных пегматитов грубозернистое, характеризующееся меньшими размерами выделений по сравнению с другими пегматитами. Кроме полевых шпатов и кварца, присутствуют авгит, роговая обманка, хлорит, флюорит, кальцит, реже встречаются биотит и сульфиды — пирит, пирротин, молибденит, халькопирит и другие минералы; значительное развитие имеют также магнетит и гематит. В пегматитах наблюдаются включения вмещающих пород.

Урановые минералы представлены уранинитом, ураноторитом и торинанитом. Отмечены также сфен, циркон, тантало-ниобаты и титано-тантало-ниобаты — эвксенит, поликраз, пирохлор и др. В отличие от пегматитов чистой линии размер зерен рудных минералов небольшой — они не превышают 5 мм; часто вкрапленность имеет микроскопический характер.

Оруденение тяготеет не к средней, а к краевым частям пегматитов, при этом промышленный контур параллелен контактам пегматитового тела. Отмечается, что наиболее значительные концентрации урановых минералов приурочены к тем участкам пегматитов, в которых наблюдается повышенное содержание гематита, магнетита, темноцветных минералов, а также — к участкам включений вмещающих пород и к участкам жил незначительной мощности. Р. Найнингер отмечает, что оруденение приурочено к раздробленным участкам пегматитов.

Содержание урана колеблется в значительных пределах, составляя в среднем 0,095%. В отдельных участках оно достигает 0,4%.

В процессе разведки месторождений выделяются контуры промышленных руд и руд с низким содержанием урана (забалансовые руды). Содержание тория в рудах вдвое ниже, чем содержание урана. Отмечается также наличие церия, галлия и циркония.

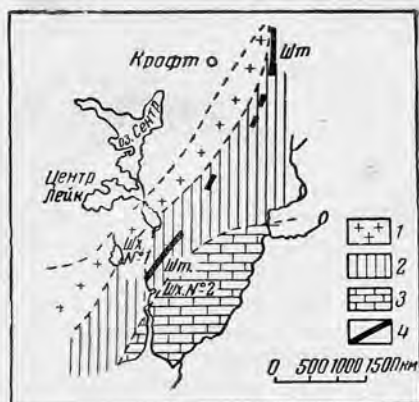


Рис. 3. Геологическая карта района месторождений Центрального озера и Крофта (по Л. Келли)

1 — граниты; 2 — парагнейсы (группа амфиболитов); 3 — кристаллические известняки; 4 — радиоактивная зона

В последние годы в районе Бенкрофт разведаны на глубину 160—330 м несколько месторождений и начата их разработка.

Месторождение Фарадей. Месторождение расположено в районе г. Бенкрофт и представляет собой крупную пегматитовую жилу и ряд мелких жил с относительно богатыми уранинитовыми

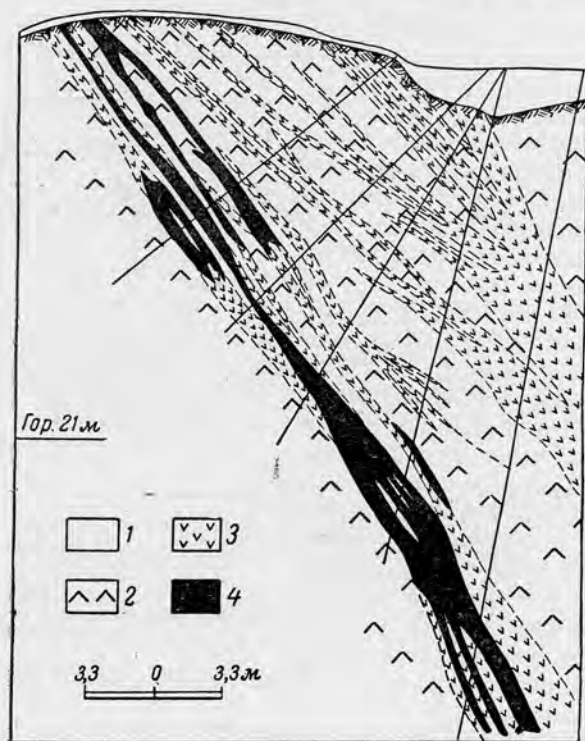


Рис. 4. Поперечный разрез ураноносных пегматитов месторождения Дайно (по Стаффу)
1 — четвертичные отложения; 2 — гнейсы; 3 — пегматиты; 4 — рудные тела

и урано-торитовыми рудами, ассоциирующими с магнетитом. Содержание урана в них превышает 0,1%. Рудник, имеющий производительность 680 т руды в сутки, был подготовлен к эксплуатации в 1957 г. Запасы месторождения составляют около 1 тыс. т урана.

Месторождение Дайно. Это месторождение расположено к западу от Бенкрофта и представлено пятью рудными телами, залегающими среди биотито-роговообманковых гнейсов (рис. 4). Месторождение разрабатывается. Производительность рудника 820 т руды в сутки. Запасы месторождения составляют 1500 т урана; содержание металла в руде 0,084%. На месторождении

введен в действие рудник Бенкрофт производительностью 910 *t* руды в сутки.

В восточной части провинции Онтарио на месторождении описываемого типа подготовлен к эксплуатации еще один рудник Халибартон с запасами урана около 1700 *t* при содержании его до 0,084 %.

В последнее время выявлена новая рудная зона Берд-Крик мощностью около 8 *m* с содержанием урана 0,11 %.

ПЕГМАТИТИЗИРОВАННЫЕ МИГМАТИТЫ

Этот тип месторождений, как и предыдущий, должен быть отнесен к пегматитам скрещения. Он представлен месторождениями Гренвилл, Ист-Арм и Шарлебуа в Канаде. Охарактеризуем последнее, как наиболее изученное.

Месторождение Шарлебуа. Расположено у одноименного озера, в Стони Рапидс в провинции Саскачеван (Канада).

Район месторождения, по описанию Фурнивола, сложен докембрийскими породами группы Тейзин, представленными роговообманковыми гнейсами, мигматитами, кварцитами и кристаллическими сланцами; в западной части района распространены метагаббро. Все породы прорываются гранитами и гранито-гнейсами, переходящими по периферии в мигматиты. Среди интрузивов выделяются силлообразные тела, также обычно разгнейсованные.

Пегматиты, инъецирующие мигматиты, полосчатые граниты и гнейсы, тесно связаны с гранитами и имеют гранитный состав. Они сложены полевым шпатом и кварцем, имеющим сравнительно мелкозернистое строение, и перемежаются с гранитами и мигматитами, давая полосы сложных пегматитовых инъекций шириной до нескольких сотен метров. Пегматитовые инъекции в таких полосах имеют разную мощность: от долей сантиметра до 5—9 *m*. В некоторых случаях жилы пегматитов располагаются вдали от контактовых зон, и характеризуются более крупнозернистым строением. Они пересекают мелкозернистые пегматиты или образуют шлиры и сложены красным калиевым полевым шпатом, кварцем, иногда биотитом, мусковитом, турмалином, бериллом и другими минералами.

Оруденение приурочено к мелкозернистым разностям пегматитов и к инъецируемым ими мигматитам. В относительно обогащенных участках таких пегматитов, имеющих обычно светлую окраску, цвет изменяется на более темный в связи с развитием темной слюды и дымчатого кварца. Присутствуют также калиевый полевой шпат, плагиоклаз, турмалин, сфен, циркон, апатит, молибденит, пирротин и пирит. Урановое оруденение представлено уранинитом в виде очень мелкой вкрапленности с размером выделений 0,2 *mm*.

В пегматитизированных мигматитах выделяются полосы мощностью 2—3 м с промышленным содержанием урана до 0,2%. В настоящее время ряд участков месторождения подготавливается к отработке. В участках Блек-Лейк, Фреда-Лейк, Наин-Лейк, Фостер-Лейк и Лакма-Рэндж среднее содержание урана составляет около 0,05%.

Подгруппа 2. Нефелинсиенитовые пегматиты

ПИРОХЛОРОВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Пегматиты данного типа имеют значительное распространение. Разрабатываются они преимущественно на редкие металлы и редкие земли, где уран может извлекаться лишь как попутный компонент.

Пегматиты обычно имеют сиенитовый или нефелин-сиенитовый состав и залегают среди щелочных пород либо вблизи них. Последние нередко входят в состав гранитоидных комплексов и располагаются по соседству с ними.

Оруденение связано с титано-тантало-ниобатами. Главное значение имеет пирохлор, присутствующий вместе с нефелином, полевыми шпатами, эгирином, биотитом, сфеном, апатитом и другими минералами. В некоторых месторождениях существенную роль приобретают малакон и циртолит.

В одном из промышленных месторождений данного типа рудные пегматиты представлены линзообразными и неправильными телами, в которых встречаются и низкотемпературные гидротермальные минералы — цеолиты и другие. Ниобий, редкие земли, торий и уран являются промышленными компонентами.

ЦИРКОНИЕВЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Циркониевые пегматиты также имеют широкое распространение; особенно они развиты в Бразилии.

Главными рудными минералами являются малакон, циртолит, обычно ассоциирующие с щелочными полевыми шпатами, нефелином, щелочными пироксенами и амфиболами, биотитом, апатитом, сфеном, иногда с тантало-ниобатами. В отдельных месторождениях этого типа встречается также джалмаит, представляющий собой обогащенный ураном микролит.

Некоторые обобщения по пегматитовым месторождениям урана и поисковые признаки их

1. Промышленные месторождения ураноносных пегматитов встречаются преимущественно в докембрийских щитах, в пределах крупных ураноносных провинций и поясов, иногда совместно с другими типами уранового оруденения.

2. Пегматитовые месторождения урана самостоятельного значения, т. е. месторождения, где главным компонентом является уран, характеризуются повышенными и относительно равномерными содержаниями урана порядка 0,1 % и выше. Они связаны с пегматитами скрещения, залегающими в карбонатных породах или среди мигматитов с повышенным содержанием кальция.

3. Среди крупных пегматитовых поясов и полей ураноносные пегматиты проявляются в локальных участках и в районах, где наблюдаются благоприятные для локализации уранового оруденения вмещающие породы.

4. Ураноносные пегматиты чистой линии, связанные с гранитами и щелочными породами, обычно характеризуются спорадическим оруденением и низким содержанием урана. Разработка таких пегматитов на уран проводится либо выборочно при наличии крупных выделений урановых минералов, либо попутно, при разработке пегматитов на другие основные компоненты, например на полевой шпат, слюду, тантал, ниобий, бериллий.

5. Из различных ураноносных пегматитов наиболее существенное значение имеют тантало-ниобиевые, пироксеновые и циркониевые.

6. Ураноносные пегматиты имеют ограниченное значение для добычи урана, вместе с тем они представляются существенно важными породами как источник для образования некоторых осадочных месторождений урана, в том числе прибрежно-морских россыпей.

7. Поисковым признаком урановых пегматитовых месторождений является наличие в пределах ураноносных поясов пегматитов скрещения с грубозернистой текстурой, в составе которых значительную роль играют кальцит, флюорит, пироксен и побочную — магнетит и гематит. В пределах пегматитовых поясов и провинций хорошими поисковыми признаками можно считать дифференцированные пегматиты со сложным полосчатым строением и развитием полевых шпатов и блокового кварца, и пегматитизированные мигматиты.

ГРУППА III. КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ (СКАРНОВЫЕ) МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Контактово-метасоматические (скарновые) месторождения урана, подобно пегматитовым, также не имеют большого промышленного значения, хотя и характеризуются значительным распространением. Некоторое время данная группа месторождений рассматривалась даже как вполне перспективная в отношении уранового оруденения. В последние годы в Австралии было разведано и начало осваиваться месторождение этого типа Мери Кетлин с промышленными запасами; намечаются к освоению еще одно-два таких месторождения.

Контактово-метасоматические месторождения, как известно, образуются на контактах интрузивных пород с карбонатными породами в результате проявления пневматолитового процесса, нередко с последующим наложением на него гидротермальных образований. По мнению Д. С. Коржинского, разработавшего теорию образования месторождений данного типа, формирование месторождений происходит не в результате воздействия скарнирующих растворов, а путем сочетания инфильтрационного и диффузионного метасоматоза под воздействием восходящих магматогенных растворов. При этом метасоматическое замещение происходит не обязательно в контакте активной интрузии с карбонатными породами. Оно может происходить при наличии двух сред — любой силикатной и карбонатной при условии притекающих магматогенных растворов. Приведем описание урановых месторождений данной группы.

Месторождение Мери Кетлин. Месторождение Мери Кетлин находится в Северо-Западном Квинсленде (Австралия), между известным полиметаллическим районом Маунт-Айза и г. Клонкерри, в 65 км от первого. Месторождение было открыто в 1954 г. В настоящее время оно разведано и на нем начата разработка.

Район месторождения сложен нижнепротерозойскими метаморфическими породами — серией Корелла Бедс, образующими синклинальную складку, разбитую многочисленными сбросами. Р. С. Мачесон и Р. А. Серль приводят следующий разрез пород района (сверху вниз):

1. Переслаивающиеся кварциты и гранулиты.
2. Известковистые гранулиты и перекристаллизованные кремнистые известняки, перемежающиеся с гранулитами и слюдястыми сланцами с подчиненными им конгломерато-брекчиями, скаполитизированными диоритами и интрузивами основного состава.
3. Лавы или силлы основных пород, перемежающиеся с гранулитами и кварцитами, являющиеся наиболее дислоцированными.

Породы серии Корелла Бедс прорваны гранитами, которые оконтуривают с запада и востока указанную серию, протягивающуюся в виде огромного останца. В районе наблюдается широкое проявление гранитизации, причем особенно интенсивно изменены и ассимилированы гранитом породы нижней толщи.

Комплекс интрузивных пород представлен гранитами, гранитогнейсами, порфиритами и дайками долеритов.

Месторождение расположено в пределах западного несколько опрокинутого крыла крутой синклинали, разбитой серией разломов северо-восточного, меридионального и отчасти северо-западного простираний с крутым падением (рис. 5).

В 2,5 км севернее месторождения проходит один из главных северо-восточных разломов — разлом Валли с горизонтальной амплитудой. Вдоль него происходило смещение северо-западного блока в северо-восточном направлении. Кроме указанных разломов, на месторождении выделяются северо-западные сколовые нарушения и пологие трещины, также игравшие значительную роль в его формировании.

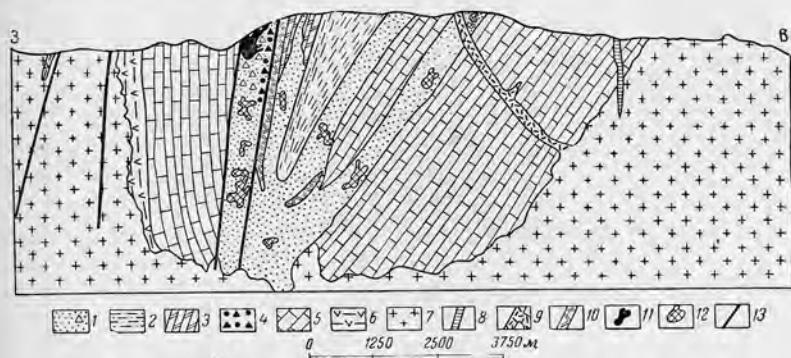


Рис. 5. Поперечный разрез месторождения Мери Кетлин (по Мачесону и Серлю)

1 — гранатовые скарны; 2 — кварциты; 3 — скаполит-лиопсидовые гранулиты; 4 — конглобрекчии; 5 — диопсид-скаполитовые гранулиты; 6 — гранулиты, кварциты и основные породы; 7 — граниты; 8 — долеритовые дайки; 9 — дайки порфиров; 10 — лайки диоритов; 11 — рудное тело; 12 — предполагаемые рудные тела; 13 — разломы

Оруденение тяготеет к гранатовым скарнам (рис. 6), залегающим между двумя северо-западными зонами и ограниченным с одной стороны конгломерато-брекчиями, с другой — известняками.

В пределах рудной зоны породы интенсивно скарнированы, и лишь в северной ее части наблюдаются участки неизмененных гранулитов. Рудная минерализация выражена рядом рудных прожилков и зон среди гранатовых скарнов и приурочена преимущественно к трещинам, падающим на запад.

Руды представлены темно-коричневым или темным ортитом и уранинитом; скарны содержат также апатит и другие акцессорные минералы. Уранинит представлен мелкой вкрапленностью и ассоциирует с ортитом, а в некоторых местах — с сульфидами, а также с редкоземельными минералами: стиллвелитом, кариоцеритом и ринкитом. Обычно уранинит образует спорадическую вкрапленность в массивных сульфидных скоплениях, состоящих из пирита, пирротина и халькопирита; вместе с ними иногда встречаются молибденит и галенит. В пирротине установлено присутствие никеля, а в пирите — следы кобальта.

Гранат представлен андрадитом и альмандином. Р. С. Мачесон и Р. А. Серль отмечают, что уранинит метасоматически раз-

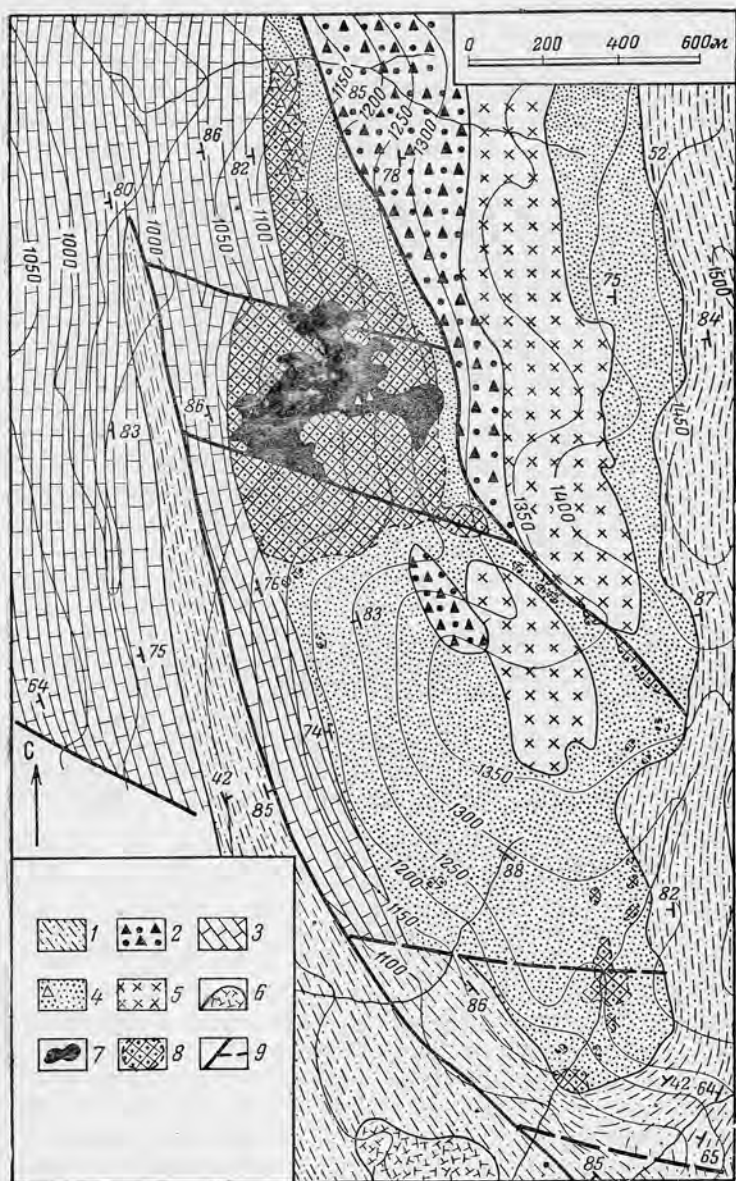


Рис. 6. Детальная геологическая карта месторождения Мери Кетлин (по Мачесону и Серлю)

1 — кварциты и гранулиты; 2 — конглобрекции; 3 — диопсидо-скаполитовые гранулиты; 4 — зона гранатизации; 5 — диориты; 6 — измененные основные породы; 7 — рудные тела; 8 — проявления вкрапленной минерализации; 9 — разломы установленные и предполагаемые

вивается только по андрадиту. Ортит замещает обе разновидности граната и частично ассоциирует с ранним кальцитом. Сульфиды образовались вместе с уранинитом, частично позднее его. В скарнах, кроме граната и диопсида, установлены скаполит, микроклин и альбит. По мнению Мачесона и Серля, микроклин и альбит развиваются после граната, но до скаполита, хотя, как известно, в других скарновых месторождениях альбит часто замещает скаполит.

На месторождении развита зона окисления, прослеживающаяся до глубины 40 м. Уранинит в зоне окисления переходит в гуммит, уранофан и бета-уранотил. Вторичные минералы урана также образуются по трещинам в рудах. В некоторых частях рудного тела уранинит окружен аморфным кремнеземом, флюоритом, апатитом, кальцитом и пиритом.

В целом урановая минерализация месторождения Мери Кетлин контролируется рядом факторов, из которых наиболее важными являются:

а) наличие благоприятных вмещающих пород, представленных известковистыми и перемежающимися с ними силикатными породами средней толщи серии Корелла-Бедс, подстилающихся проницаемыми конгломерато-брекчиями;

б) наличие благоприятной структуры сколовых нарушений, развившихся в период складчатости и явившихся затем путями проникновения рудоносных эманаций гранитной магмы;

в) проявление интенсивного скарнирования и особенно образование гранатовых скарнов, способствовавших локализации оруденения.

Месторождение Мери Кетлин разведано и начало разрабатываться. Запасы его, по данным журнала «Chemical England Min., Rev.», определены цифрой более 5 тыс. *t* урана в рудах со средним содержанием металла 0,45%; отношение урана к торнию составляет 5:1. Это самое крупное месторождение урана обширного рудного района Маунт-Айза, а может быть и всей Австралии. Среднее содержание урана в рудах месторождения в результате дальнейших работ, возможно, несколько снизилось, в то же время общие запасы его явно возросли.

Следует отметить, что урановая минерализация данного типа известна и в соседних районах, например в месторождении Рита, расположенном в 3 км к юго-востоку от Мери Кетлин, в Элен-Дороти.

Месторождение Вильгельм. Месторождение расположено в 12 км от г. Аскерзунда в Центральной Швеции и приурочено к дислоцированным породам лептитовой формации архея, интродуцированным пегматоидными гранитами.

Скарны, развивающиеся в контактах указанных пород, представлены тремолит-актинолитом, диопсидом, сфеном, биотитом, кварцем и кальцитом. Широко распространен магнетит, обра-

зующий значительные скопления, имеющие пластообразную форму и прослеживающиеся на значительном протяжении при сравнительно небольшой мощности. Магнетит часто бывает мартитизирован.

Урановое оруденение представлено уранинитом, отличающимся низким содержанием тория. Уранинит ассоциирует с тремолит-актинолитом, диопсидом или магнетитом и представлен мелкой вкрапленностью размером 0,05 мм. Отмечается повышение содержания урана с увеличением железистости амфибола.

С известными основаниями к рассматриваемой группе относится промышленное месторождение Рекспар в западной части Канады, представленное прожилками в скарнах, выполненными кварцем, сульфидами и урановой смолкой. Некоторые исследователи считают такие месторождения гидротермальными.

А. Г. Бетехтин к контактово-метасоматическим образованиям относит отдельные, в основном скварново-магнетитовые торий- и урансодержащие месторождения, в которых торий представлен сложными слабо изученными силикатами бурого цвета, содержащими уран в виде примеси.

ГРУППА IV. ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Гидротермальное месторождение урана представляют очень большую и чрезвычайно важную группу месторождений, нередко характеризующихся весьма богатыми рудами. Несмотря на открытие в последние годы многих промышленных месторождений осадочного и осадочно-метаморфогенного типов, данная группа месторождений сохраняет свое значение как важнейший источник добычи богатых урановых руд.

Гидротермальное месторождение обычно рассматриваются как магматогенные, т. е. как образованные из жидких растворов, выделявшихся из магмы. В огромном большинстве случаев ассоциация урановых месторождений с изверженными породами проявляется достаточно отчетливо. Однако формы связи с ними бывают разнообразными. По всей вероятности, источники рудосносных растворов на разных глубинах проявляются по-разному. Локализация руд, как правило, происходит вдали от источников рудных растворов. Поэтому в образовании урановых месторождений главная роль принадлежит геологической структуре, находящейся в том или ином сочетании с вмещающими породами и магматическими факторами.

Разнообразие геологических условий, предопределяющих появление уранового оруденения, выражено в существенно различной физико-химической обстановке рудоотложения.

Формирование гидротермальных урановых месторождений происходит как в различных температурных условиях, так и на разной, хотя преимущественно небольшой глубине, что обуславливает и различную скорость охлаждения растворов. Все эти

и другие факторы еще более усложняют химизм происходящих при движении растворов процессов, формы переноса рудных веществ и способы рудоотложения.

Рассмотрим в сжатом изложении основные вопросы гидротермального рудообразования в применении к урановым месторождениям.

Время образования месторождений и их геологическое положение

Обычная пространственная ассоциация урановых месторождений с кислыми изверженными породами рассматривается как главное доказательство их магматогенного происхождения. Этот вывод подкрепляется также тем, что уран содержится и в эффузивах и притом в количествах более высоких, чем в интрузивных породах. Установлено, что содержание урана как в интрузивных, так и в эффузивных сериях увеличивается с увеличением кислотности пород. По данным Д. А. Адамса, в кислых породах это содержание приблизительно не менее чем в шесть раз выше, чем в основных породах.

Изучение вопроса о связи урановых месторождений с интрузивными породами привело исследователей к выявлению важной общей закономерности: *гидротермальные месторождения урана связаны преимущественно с позднейшими послескладчатыми интрузивными комплексами подвижных складчатых зон.* По составу такие интрузии представлены кислыми калиевыми гранитами и щелочными породами. Реже месторождения урана связаны с крупными батолитовыми интрузивами более основного состава. В этом случае они обычно ассоциируют с сопровождающими их несколько более поздними малыми интрузиями и дайками кислых пород и лишь исключительно редко урановая минерализация встречается в ассоциации с основными породами, формирующимися в доскладчатые этапы развития подвижных геосинклинальных зон.

Несмотря на обычную пространственную связь урановых месторождений с кислыми интрузивами, далеко не всегда доказываются их генетическая связь с последними. С большей определенностью эта связь проявляется для некоторых высокотемпературных месторождений (Корнуолл, Британская Колумбия). Что же касается средне- и низкотемпературных месторождений, то в большинстве случаев отмечается, что интрузивные породы, с которыми они ассоциируют, не являлись источниками уранового оруденения. В качестве таковых обычно допускаются корневые части интрузий, скрытые на глубине.

Еще сложнее обстоит дело с месторождениями, расположенными в пределах докембрийских щитов, где часто развиваются метасоматические граниты и мигматиты или где вблизи месторождений совсем неизвестны выходы крупных интрузивных мас-

сивов (Конго). При этом урановое оруденение, возможно, бывает связано с метаморфизмом пород.

В ряде случаев урановое оруденение ассоциирует с малыми интрузивами и дайками изверженных пород, являясь обычно более поздним по отношению к ним, а также с экструзивами и субвулканическими интрузивами.

Гидротермальные месторождения урана широко распространены в пределах докембрийских щитов, особенно по их складчатому обрамлению (Канада), а также во внутренних частях щитов, в зонах развития древней протерозойской складчатости. Они располагаются и в более поздних подвижных зонах: палеозойских, особенно варисских, а также в мезо-кайнозойских. Известны промышленные месторождения и позднегерцинского возраста (Мексика, США). Однако самые крупные и богатые гидротермальные месторождения наблюдаются в образованиях докембрия и верхнего палеозоя. Урановые месторождения в складчатых геосинклинальных зонах встречаются преимущественно в тех их частях, где наиболее отчетливо проявились поздние тектоно-магматические комплексы.

Вмещающие породы и их роль в образовании месторождений

При большом разнообразии типов гидротермальных месторождений последние приурочены к самым различным породам. Вместе с тем для многих рудоносных районов и областей выделяются благоприятные для локализации оруденения вмещающие породы, в которых рудные тела или рудные столбы размещаются наиболее часто.

Нередко рудные тела размещаются в разнообразных метаморфических сланцах и в других силикатных породах метаморфических толщ. В некоторых районах ураноносные тела залегают среди различных по составу эффузивов и туфогенных пород вулканогенных толщ, например в месторождении Мерисвейлл в США, в некоторых месторождениях Чили. Наконец, можно выделить рудные районы, где урановые месторождения развиты преимущественно в гранитах, гранулитах и подобных им породах — месторождения Фронт Рендж в США, месторождения Центрального и Армориканского массивов во Франции. В ряде других рудных районов, например в Рудных горах, они в этих породах не встречаются и приурочены к сланцам, полосчатым амфиболитам, углистым сланцам и слюдястым пиритизированным сланцам (Е. М. Янишевский и В. М. Константинов, 1960). Известны также месторождения, приуроченные к железистым кварцитам и к перемежающимся с ними альбитизированным сланцам, либо непосредственно к крупным гематито-магнетитовым залежам.

Во многих рудных районах устанавливаются также литологические разновидности пород, в которых наблюдаются особенно

богатые концентрации урановых руд. Нередко выявление таких пород коренным образом изменяет оценку месторождений и целых районов. Вполне понятно, что наличие подобных пород вызывает необходимость проведения целенаправленных поисковых и разведочных работ. Такими породами, в частности, нередко являются амфиболиты, диабазы, порфириды и другие основные богатые закисным железом разности, часто перемежающиеся со сланцами и метаморфическими толщами. В других случаях подобными породами являются силлы и дайки диабазов и лампрофиров, в контакте с которыми или при их пересечении мощность рудных залежей увеличивается, а минерализация становится более интенсивной, например, породы в месторождениях Чуауа в Мексике, Генриэтта во Франции. Иногда благоприятными для рудообразования оказываются ранние скарны.

При взаимодействии растворов, несущих уран в шестивалентной форме, с боковыми породами, содержащими закисное железо, происходит восстановление урана и переход его в четырехвалентный с образованием урановой смолки. Примеров подобных соотношений очень много. Среди метаморфических толщ благоприятными для рудообразования иногда являются графитовые сланцы и гнейсы. Примером могут служить месторождения Рам-Джангл, Рудных гор и другие.

В осадочных формациях оруденение локализуется в породах, обогащенных органическими остатками, в углистых отложениях, битуминизированных и пиритизированных породах и т. п. Органическое вещество таких пород, а также катион Fe^{2+} играют роль осадителей, приводя к выпадению урановых соединений. В некоторых месторождениях благоприятными для замещения рудой являются различные переслаивающиеся породы, например доломиты и графитовые сланцы (месторождения Шинколовбе, железистые кварциты и сланцы и т. п.).

Изменение вмещающих пород

Характерный тип изменения вмещающих урановое оруденение пород — гематитизация, обычно выражающаяся в покраснении пород.

Гематитизация часто развивается в самых различных по составу породах и является очень хорошим поисковым признаком.

Геохимическая сторона процесса гематитизации заключается в том, что при взаимодействии иона двухвалентного железа с находящимся в растворе шестивалентным ураном последний восстанавливается до труднорастворимого четырехвалентного соединения и выпадает в виде урановой смолки; железо при этом окисляется и в виде тончайшей гематитовой взвеси выносятся растворами в боковые породы. Нередко отмечается определенная зависимость между содержанием урана в рудах и ин-

тенсивностью покраснения вмещающих пород. Следует, однако, иметь в виду, что это покраснение обычно не бывает очень интенсивным, так как гидрогематитизации и лимонитизации, наблюдающихся в окисленных выходах железных и сульфидных руд, не происходит. Поэтому даже слабое покраснение пород должно привлекать внимание при поисках урана. В то же время следует отметить, что отсутствие проявлений гематитизации еще отнюдь не означает отсутствия уранового оруденения. В частности, в сульфидных урансодержащих месторождениях все железо может быть связано с пиритом и гематитизация может вовсе не наблюдаться или проявляться только спорадически.

Другие типы изменения вмещающих пород также довольно разнообразны и зависят от условий проявления гидротермального процесса — температуры и глубины рудообразования, а также от состава вмещающих пород. Некоторые типы высокотемпературных месторождений иногда сопровождаются широким проявлением щелочного метасоматоза, в частности, эгиринизацией и особенно альбитизацией, причем такие месторождения могут сопутствовать друг другу. В отдельных случаях альбитизация и эгиринизация сочетаются с карбонатизацией.

Для ряда месторождений, где рудные тела залегают в сланцах, гнейсах и гранитах, оруденение сопровождается биотитизацией или образованием гидрослюд. Многие среднетемпературные месторождения, залегающие в изверженных и других силикатных породах, сопровождаются хлоритизацией, окварцевыванием и серицитизацией. Известны районы, где ранняя хлоритизация с образованием богатого железом хлорита явилась предпосылкой для последующей локализации уранового оруденения (М. Ф. Стрелкин).

Весьма характерным типом изменения различных, особенно гранитоидных пород является флюоритизация. Связь урана с флюоритом объясняется близостью радиусов ионов четырехвалентного урана ($0,97 \text{ \AA}$) и кальция ($0,99 \text{ \AA}$). Нередко флюорит содержит четырехвалентный уран; такой флюорит имеет темную, почти черную окраску.

Месторождения, образованные вблизи от поверхности и залегающие среди вулканогенных пород, часто сопровождаются интенсивной аргиллизацией и общим осветлением. Осветление вмещающих пород, сопровождающее урановое оруденение, нередко обусловлено серицитизацией и каолинизацией, сменяющимися при удалении от рудного тела более широкой зоной монтмориллонитизации.

В некоторых ураноносных районах серицитизация развивается в нижних горизонтах месторождений, сменяясь в верхних альбитизацией, где вместо калия начинает преобладать натрий. Г. А. Пелымский приводит различные типы зональности околорудного изменения в разных породах (рис. 7).

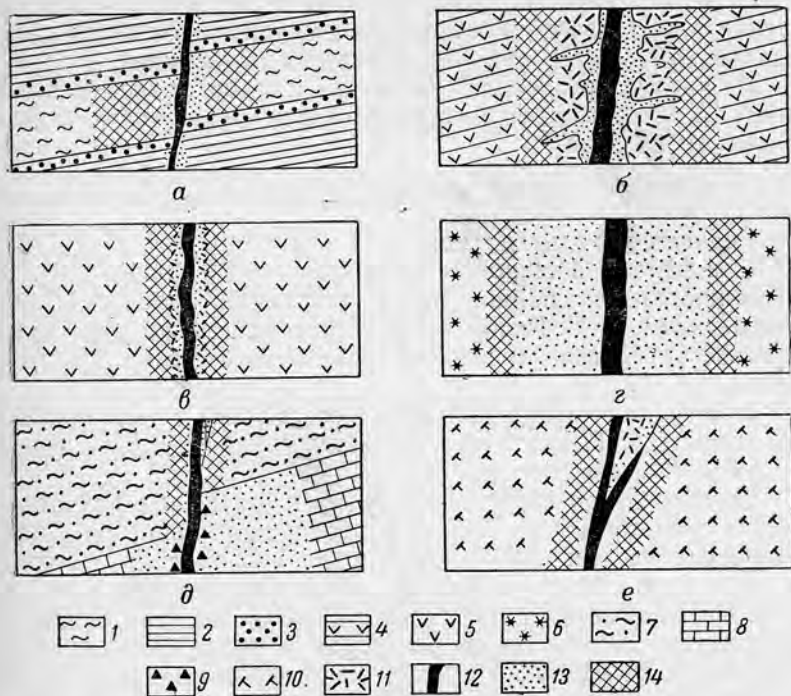


Рис. 7. Типы околорудного изменения боковых пород вблизи жил с урановой смолкой (схемы) (по Г. А. Пелымскому)

a — в мусковитовых, биотитовых сланцах и кварцитах; *б* — в туффитах; *в* — в диабаззах; *г* — в скарнах; *д* — в парагнейсах и доломитизированных известняках; *е* — в керсантитовых дайках

1 — биотитовые сланцы; 2 — кварц-мусковитовые сланцы; 3 — кварциты; 4 — туффиты; 5 — диабазы; 6 — скарны; 7 — парагнейсы; 8 — известняки (доломитизированные); 9 — флюорит; 10 — керсантиты; 11 — зона карбонатизации; 12 — жила с урановой смолкой; 13 — зона окварцевания; 14 — зона хлоритизации

О химизме растворов и формах переноса в них урана

О составе и характере рудных растворов и формах их переноса обычно судят по минеральным парагенезисам, данным экспериментальных работ, касающихся растворимости урановых соединений, по текстурам и структурам руд и т. п. При значительном разнообразии природных условий, в которых мы находим урановые месторождения, едва ли правильно ограничивать возможности переноса урана только какой-либо одной формой.

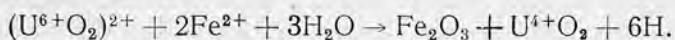
Можно допускать следующие способы переноса урана:

1. В форме уранил-иона в карбонатных растворах при $pH \geq 7$.

Экспериментально доказано, что комплексные соли типа $R_4^+[UO_2(CO_3)_3]$ хорошо растворяются в воде при температуре 150° при наличии в растворах карбонатов щелочных металлов.

Выпадение урановых соединений может происходить при уменьшении парциального давления CO_2 или при изменении рН растворов, например, при тектонических подвижках.

В кислых растворах экспериментально доказана возможность восстановления шестивалентного урана двухвалентным железом по схеме:



Реакция доходит до конечных стадий: $(\text{U}^{6+}\text{O}_2)^{2+} < 10^{-6}$ при 25°C и $\text{pH} \geq 4$ в широком диапазоне концентраций Fe^{2+} . Этим объясняется показанная выше ассоциация урановой смолки с гематитом. Р. П. Рафальским экспериментально доказана возможность восстановления шестивалентного урана сульфидной серой.

2. В форме четырехвалентных соединений с галоидами, что, по мнению А. Г. Бетехтина, является главной формой переноса рудных веществ вообще.

Согласно этой гипотезе, осаждение урана, обладающего высоким сродством с кислородом, происходит лишь при достижении восходящими растворами уровня кислородного насыщения в результате обмена четырехвалентного аниона урана на кислород. Низкая растворимость образующейся при этом окиси урана приводит к пересыщению растворов и проявлению коллоидов. Однако В. В. Щербина считает мало вероятным перенос урана в виде UCl_4 , так как это соединение легко гидролизуеться при низких значениях рН. Отмечается также, что иногда урановая смолка ассоциирует с хлоритом, богатым закисным железом, и отсутствует там, где сульфиды замещаются гематитом. В таких случаях смолка, возможно, отлагалась даже в условиях пониженного поступления кислорода.

3. В виде хлоридов, фтористых соединений и сульфатов в кислых растворах.

При выносе урана из магмы в виде UF_6 (Ю. Дымков) в водных растворах образуется соединение UO_2F_2 и свободная фтористоводородная кислота. В присутствии карбонатов выпадает флюорит, а уран мигрирует в форме уранилкарбонатного комплекса.

4. В виде комплексных соединений четырехвалентного урана с кремнеземом типа $n\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{UO}_2 \cdot m\text{SiO}_2[\text{U}^{4+}\text{F}_2(\text{CO}_3)_3]$ щелочно-силикатных, щелочно-карбонатных и силикатно-боратных.

Такая форма переноса экспериментально обоснована В. В. Щербиной. Выпадение смолки, а также сопровождающих ее минералов — кварца, флюорита и карбоната, — происходит при разложении комплексных соединений в связи с изменением парциального давления углекислоты и рН растворов. Р. П. Рафальский на основании экспериментальных работ считает, что перенос урана в гидротермальных растворах возможен и в четырехвалентной форме. Фейер, Гренер и другие исследователи

считают, что перенос урана происходит в виде шестивалентных соединений, а выпадение его — в результате восстановительных реакций.

Способы и условия отложения руд

Отложение урановых руд происходит в результате взаимодействия растворов с вмещающими породами, а также путем заполнения трещин и пустот. Метасоматическое замещение при формировании урановых месторождений более широко развивается в высокотемпературных и относительно глубинных рудных формациях. В средне- и низкотемпературных и близповерхностных условиях нередко преобладает процесс заполнения пустот и трещин.

Большинство исследователей считает, что гидротермальные месторождения урана образуются при различных температурах и давлениях. Вместе с тем В. Е. Мак-Келви, Д. Л. Эверхард и Р. М. Гаррелс (1958) указывают на следующее: «... большинство смолковых жил образовалось на таких небольших глубинах и под таким низким давлением, что в пределах трещин могли существовать открытые полости ...».

Благоприятные условия отложения урановых руд при гидротермальном процессе создаются в результате различных химических реакций, а также вследствие потери растворителя, пересыщения растворов (падение температуры и давления), действия электролитов и т. п.

Роль геологической структуры и глубина распространения промышленных руд

Значение структурного фактора в образовании и контроле гидротермальных месторождений урана столь же велико, как и в формировании других месторождений. Значение это выражается как в общем распределении месторождений в пределах больших областей и районов (региональные структуры), так и в локализации отдельных месторождений, рудных тел и рудных столбов (локальные структуры различных порядков).

Из региональных геологических структур первого и второго порядков большое значение имеют крупные антиклинали с подчиненными им интрузивами гранитоидов и особенно крупные региональные разломы, контролируемые урановое оруденение. При этом, как и в других гидротермальных месторождениях, последние обычно размещаются не в них самих, а в сопряженных с ними или в сопровождающих их второстепенных нарушениях и системах трещин: оперяющих, пересекающих, параллельных, поперечных, диагональных и других. Примером такого рода контроля являются ураноносные районы во Франции — Ля Крузиль, Лашо, Грюри, Вандея, районы Большого Медвежьего озера и озера Биверлодж в Канаде и многие другие.

В локализации уранового оруденения гидротермального типа важное значение имеют дизъюнктивные, а для некоторых типов и складчатые структуры и их различные сочетания. Из складчатых структур следует отметить сводовые части антиклинальных складок и особенно складок с крутыми шарнирами в древних метаморфических толщах, а также мелкие складки волочения. К таким структурам иногда приурочиваются столбо- и трубообразные, а также плоские короткие тела, распространяющиеся на глубину больше, чем по простиранию. Из разрывных рудоносных структур широко распространены оперяющие трещины скола и разрыва.

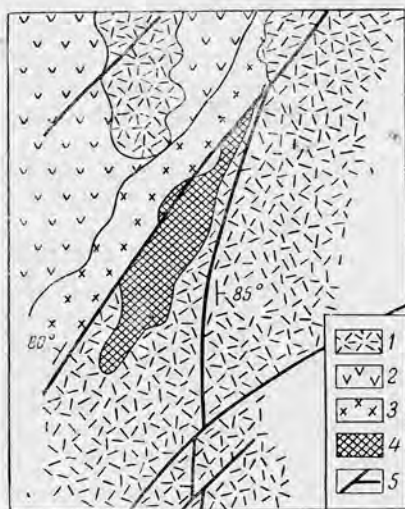


Рис. 8. Схема строения месторождения, представленного штокверком, расположенным между сходящимися разломами (план) (по Л. И. Лукину и Е. П. Сонюшкину)
1 — туфы порфиритов; 2 — диориты; 3 — слениты; 4 — рудоносные участки; 5 — тектонические нарушения

В Рудных горах месторождения урана обычно приурочиваются к нарушениям третьего, четвертого и отчасти пятого порядков, выраженным сколовыми оперяющими трещинами (Е. М. Янишевский и В. М. Константинов). Для некоторых районов, где месторождения, связанные по времени образования с герцинской складчатостью, локализуются в вулканогенных породах, они располагаются главным образом в оперяющих нарушениях второго и третьего порядков, на некотором удалении от мест их сопряжений.

Важнейшими факторами в локализации уранового оруденения являются также зоны смятия с рассеянным и прожилковым оруденением или зоны брекчирования, где обломки вмещающих пород цементируются жильным материалом со смолкой, — месторождение Лимуза, Бау-Нуар, — или зоны мелкой трещиноватости у сопряжения нарушений и другие. Для всех этих примеров структурный фактор теснейшим образом сочетается с благоприятной литологической обстановкой.

По данным Л. И. Лукина, Е. П. Сонюшкина, Е. М. Янишевского, В. М. Константинова, К. П. Лобато, В. Н. Котляра и других исследователей, выделяются следующие главнейшие структурные типы урановых месторождений.

1. Оруденелые зоны, примыкающие или расположенные в рудоконтролирующих разломах. Примером этого типа струк-

тур являются месторождения Эльдorado и Эйс-Фей в Канаде.

2. Месторождения, располагающиеся в участках расщепления или сопряжения рудоконтролирующих разломов (рис. 8). В пределах таких рудных полей месторождения и рудные тела представлены штокверками и мелкими жилами.

3. Месторождения в отдельных трещинах или системах параллельных трещин скалывания, отличающиеся выдержанностью залегания и небольшой мощностью жил.

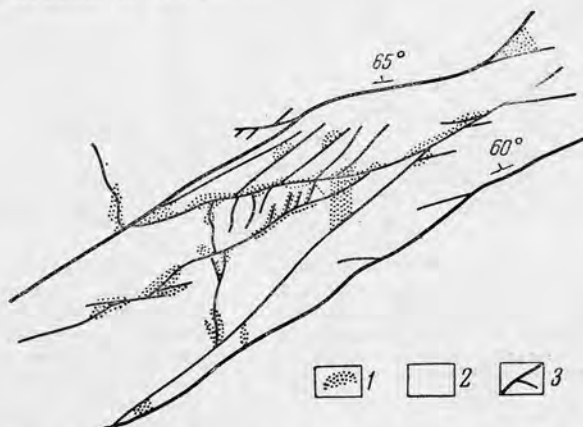


Рис. 9. Схема строения месторождения, приуроченного к сложным зонам скалывания, сопровождающимся оперяющимися трещинами (план) (по Л. И. Лукину и Е. П. Солюшину)
1 — рудоносные участки; 2 — вмещающие породы; 3 — дорудные тектонические зоны

4. Месторождения в сложных зонах скалывания, сопровождающихся оперяющимися трещинами. Такие месторождения представлены прожилковыми или жильными зонами, интенсивно разбивающими литологически благоприятные для локализации уранового оруденения породы, и иногда сопровождаются дроблением их (рис. 9).

5. Месторождения, приуроченные к местам сопряжения и пересечения жил с дорудными разломами и дайками (рис. 10).

6. Жильные штокверковые и прожилковые зоны в дайках и малых интрузивах (рис. 11), сопровождающиеся брекчированием или смятием.

7. Системы трещин растяжения, возникающие вследствие движения по сопряженным или несопряженным с ними более крупным зонам скалывания; иногда к ним приурочены дайки различных пород (например, месторождения Агуляр-да-Бейра, Транкозу и Гуарда в Португалии).

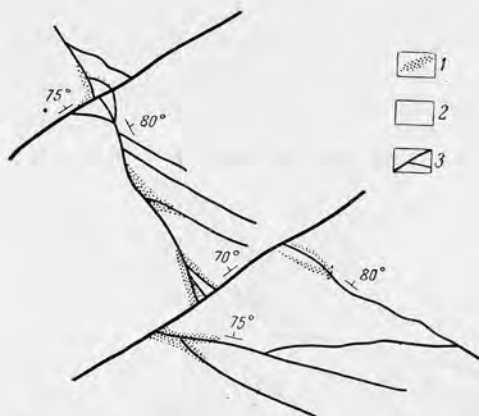


Рис. 10. Схема строения месторождения, приуроченного к местам сопряжения и пересечения дорудных тектонических зон (по Л. И. Лукину и Е. П. Соношкину)
 1 — рудоносные участки; 2 — вмещающие породы; 3 — дорудные тектонические зоны.

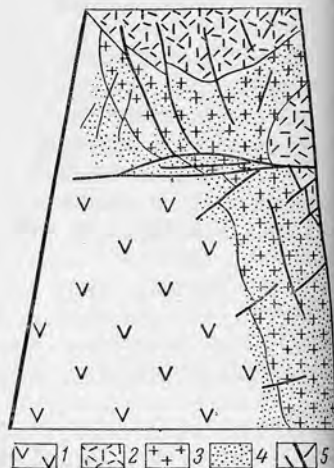


Рис. 11. Схема строения месторождения, представленного штокверковой зоной в теле малой интрузии (разрез) (по Л. И. Лукину и Е. П. Соношкину)

1 — порфириды; 2 — экструзивные туфы и туфолавы; 3 — интрузивные кварцевые порфиры; 4 — рудное тело; 5 — дорудные тектонические нарушения

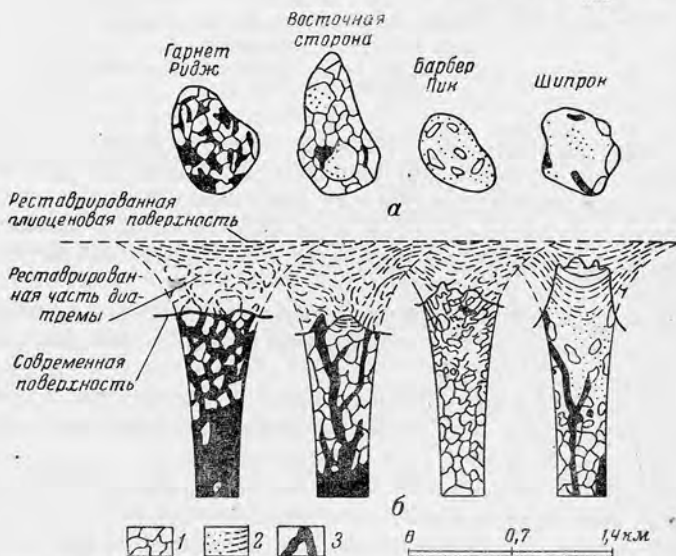


Рис. 12. Ураноносные трубки взрыва, расположенные на разломах (по Шумейкеру)
 а — в плане; б — в разрезе
 1 — брекчированные осадочные породы; 2 — слоистые туфы; 3 — интрузивные базальты или туфы

8. Сигмоидальные структуры, представляющие собой изогнутые трещины растяжения, соединяющие параллельные нарушения более крупного порядка (рис. 12).

9. Трубки взрыва и оруденелые вулканические жерла на разломах или их пересечениях (рис. 13), осложненные последующими нарушениями.

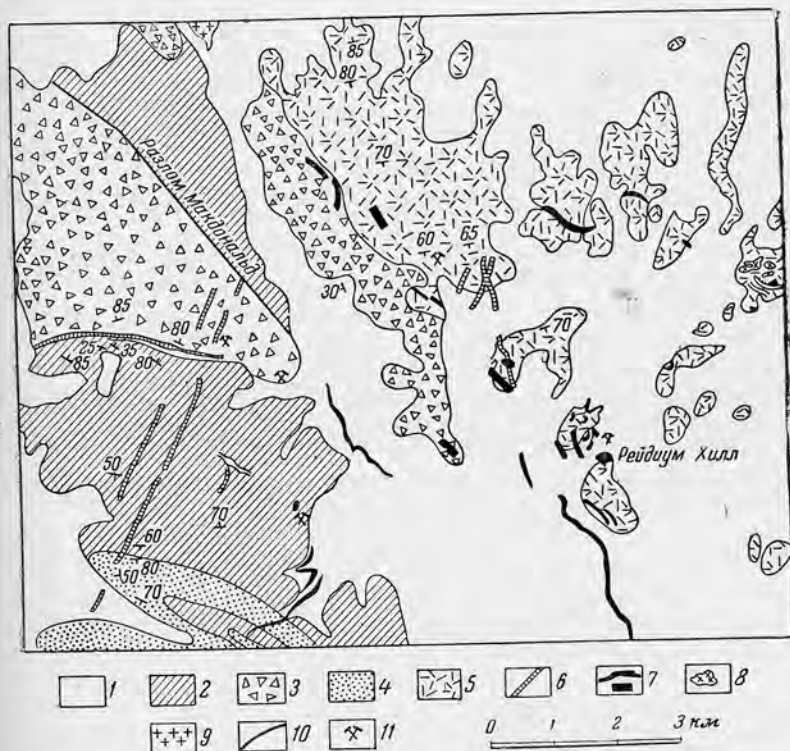


Рис. 13. Геологическая карта района месторождения Рейдиум Хилл (по Лоуренсу)

1 — четвертичный аллювий; 2—4 — образования протерозоя: 2 — кристаллические сланцы с пропластками кварцитов; 3 — тиллиты и флювиогляциальные отложения с пропластками кристаллических сланцев и кварцитов; 4 — кварциты и песчаники; 5—9 — образования архея; 5 — гранат-силлиманит-ставролит-кианитовые сланцы и гнейсы (гранитизированный комплекс); 6 — дайки порфиров; 7 — амфиболизированные габбро, горблендиты, тоналиты, долериты (дайки и силлы); 8 — пегматитовые граниты; 9 — биотит-мусковитовые граниты; 10 — тектонические нарушения; 11 — урановые рудники

Выделенные структурные типы месторождений основаны на обобщении большого фактического материала. Однако они не охватывают всего разнообразия природных сочетаний.

В приведенной выше группировке структур особенно подчеркивается роль дорудных разрывных нарушений, которые, часто не будучи оруденелыми, оказывают определенное влияние на

локализацию оруденения. При продолжительности и прерывистости процесса минерализации по некоторым нарушениям в результате последовательных тектонических напряжений происходят многократные подвижки; эти нарушения приоткрываются или, наоборот, смыкаются и становятся непроницаемыми. В результате на разных этапах и стадиях развития структуры и минерализации восходящими растворами используются различные системы нарушений. В некоторых трещинах на определенных стадиях минерализации отлагались рудные вещества, в других же трещинах, приоткрывавшихся позднее, рудные вещества не отлагались, или отлагались только нерудные жильные минералы. Проницаемость тех или иных систем нарушений и на тех или иных стадиях рудного процесса имеет очень большое значение для формирования богатых рудных тел и рудных столбов.

Глубина распространения промышленных урановых руд различна для разных типов месторождений. Она зависит от структурно-литологических и геохимических факторов, а также от глубины эрозионного среза. Для ряда высоко- и среднетемпературных месторождений протяженность рудных тел на глубину составляет 600—700 м. Есть примеры месторождений, где рудные тела продолжают на глубину 1000—1300 м от современной поверхности. Мак-Келви, Эверхард и Гаррелс считают, что среднетемпературные месторождения урана формировались на глубинах 1200—3600 м при давлениях в 140—400 атм.

Вместе с тем известны месторождения, приуроченные к вулканогенным породам, где рудные тела имеют небольшое протяжение — на глубину порядка 80—100 м; глубже 100—120 м промышленное оруденение исчезает. По-видимому, важнейшими причинами распространения оруденения на глубину являлись глубина рудоносных очагов и характер структуры месторождения в сочетании с литологической обстановкой.

Некоторые исследователи считают, что высота рудного интервала зависит от многих причин и в том числе от поступления в восходящие растворы кислорода. В тонких трещинах растворы могут подняться высоко, и рудный интервал может достигнуть 1000 м и более; в мощных же зонах трещиноватости и мощных жилах этот интервал значительно меньше.

В некоторых случаях установлена зависимость распространения уранового оруденения от наличия в рудах сульфидов. В одном и том же месторождении в сульфидных жилах ураново-смолковое оруденение наблюдается только до глубины 500 м, в жилах же без сульфидов оно распространяется значительно глубже.

В одном из районов распространения герцинских месторождений среди вулканогенных пород о величине эрозионного среза судят по распространению в верхних частях рудных жил карбоната и флюорита, а также по характеру изменения вме-

щающих пород: например, в верхних частях месторождения развита альбитизация, сменяющаяся книзу серицитизацией.

Стадийность минералообразования

Для гидротермальных месторождений урана обычно широко выражена многоэтапность и многостадийность минерализации.

При большой продолжительности и прерывистости гидротермальных процессов минерализация развивается на фоне продолжающихся тектонических движений и непрерывно изменяющихся физико-химических условий. В связи с этим отложение минералов на разных этапах развития геологической структуры нередко происходит последовательно в пределах разно ориентированных трещин, в моменты их приоткрывания. Такие системы жильных трещин, характеризующихся разным минеральным выполнением, имеют иногда совершенно различную ориентировку. Отмечается, что в промежутке времени между образованием рудных жил таких систем внедрились так называемые внутриминерализационные дайки изверженных пород (например, кварцевые порфиры в Рудных горах и Судетах). Такие периоды формирования отдельных систем рудных жил, существенно отличающихся по составу и условиям образования, принято называть *этапами минерализации*. Выделение их имеет большое поисковое значение.

В пределах этапов минерализации, наблюдающихся в рудных полях и месторождениях, обычно выделяются *стадии минерализации*, часто проявляющиеся уже во время образования (формирования) одного и того же рудного тела. Стадии минерализации разделены по времени образования внутриминерализационными тектоническими нарушениями, происходящими обычно без изменения общего плана деформаций, и отражают последовательно образующиеся минеральные ассоциации.

Изучение большого числа гидротермальных месторождений урана показывает, что в процессе минерализации обычно выделяются несколько стадий. При этом урановое оруденение часто связано лишь с одной-двумя стадиями. Установление характера размещения стадий минерализации во времени и в пространстве приводит к выяснению хода развития процесса минерализации¹.

Подгруппа 1. Высокотемпературные месторождения

Высокотемпературные месторождения характеризуются ассоциацией высокотемпературных минералов, включающих такие силикаты, как амфиболы, биотит, скаполит и другие. Месторождения

¹ Каждая стадия минерализации может состоять из одной или нескольких минеральных ассоциаций.

рождения этой подгруппы по сравнению со средне- и низкотемпературными имеют более подчиненное значение и относятся к различным рудным формациям. Среди них можно выделить месторождения давидитовой и золото-молибденовой формаций.

Давидитовая формация

Месторождения данной рудной формации характеризуются ассоциацией минералов, свидетельствующей о более высоких температурах, и по-видимому, давлениях при рудообразовании, чем при образовании урановосмолковых месторождений (П. Ф. Керр). В связи с этим некоторые исследователи месторождения давидитовой формации относят к пегматитам. С таким взглядом, однако, не согласуются данные о составе, форме и залегании рудных тел, а также факты наличия в тех же рудных полях нормальных пегматитов, от которых рудные жилы достаточно сильно отличаются.

Месторождения рассматриваемой формации представлены преимущественно трещинными жилами, залегающими в основных породах — амфиболитах, пироксенитах, анортозитах и т. п., а также в парагнейсах и мигматитах. Отмечается связь некоторых месторождений с основными интрузивными породами, что весьма необычно для урановых месторождений, или с натриевыми аплитами.

Состав руд выражен минералами железа и титана — магнетитом, гематитом, ильменитом и рутилом. В небольших количествах иногда встречаются сульфиды. Из жильных минералов присутствуют биотит, кварц, кальцит, иногда диопсид, скаполит и полевой шпат. Уран связан с давидитом.

Известные месторождения данной формации характеризуются значительным количеством сравнительно небольших рудных тел и довольно высоким содержанием в них урана и разрабатываются в значительных масштабах. В последние годы установлено более широкое распространение данной формации, чем предполагалось ранее. Примерами месторождений рассматриваемого типа являются Рейдиум Хилл в Австралии и Тете в Мозамбике. Подобные же месторождения были установлены в районе Крокерс Уэлл в Южной Австралии, в районе Маунт-Айза в Квинсленде и в некоторых других районах. Наиболее типичным представителем месторождения давидитовой формации является Рейдиум-Хилл.

Месторождение Рейдиум Хилл. Месторождение Рейдиум Хилл расположено в Южной Австралии в 340 км к северо-востоку от порта Аделаида. Район месторождения сложен докембрийскими породами, среди которых выделяются два комплекса — архейский и протерозойский, разобщенные крупным региональным разломом.

Архейский комплекс представлен парагнейсами и кристаллическими сланцами, а также разнообразными изверженными породами основного и кислого составов. Основные породы слагают силлы и малые интрузивы, обычно рассланцованные, оталькованные и превращенные в амфиболиты. Кислые породы имеют гранитный состав и сопровождаются пегматитами. Породы архея собраны в крутые складки северо-восточного простирания и интенсивно гранитизированы и мигматизированы.

Протерозойский комплекс представлен сланцами, кварцитами, песчаниками, железистыми кварцитами и тиллитами. Среди этого комплекса снизу вверх выделяются: железистая формация, кварциты и песчаники, тиллиты с прослоями сланцев и кварцитов, затем серия пород Сторция, состоящая из перемежающихся сланцев и кварцитов.

Породы архея и протерозоя интродуцированы более молодыми габбро, горнблендитами, тоналитами, гранодиорит-аплитами, лейкократовыми гранодиоритами и гранитами, сопровождающимися дайками порфиоров и долеритов, а также многочисленными пегматитами.

Месторождение расположено в пределах антиклинальной складки, погружающейся к северо-востоку и пересеченной продольными и секущими, преимущественно крутыми разрывными нарушениями. Рудные жилы приурочены к нарушениям северо-восточного простирания и распространены в полосе широкого развития аплитов, амфиболитов и пегматитов. Долеритовые дайки имеют послерудный возраст и секут рудные тела. Рудные жилы согласно залегают в рассланцованных основных породах и характеризуются крутым падением к юго-востоку под углами 50—70°. Количество жил значительное; некоторые из них сближены и прослежены на протяжении более 200 м. Многие жилы разветвляются и имеют апофизы. Мощность жил колеблется от десятка сантиметров до нескольких метров.

Состав жильного выполнения следующий: биотит, кварц, магнетит, гематит, ильменит, рутил, давидит, полевой шпат; в небольшом количестве присутствуют пирит и халькопирит, которые рассматриваются как самая поздняя стадия минерализации. Давидит образовался во вторую стадию — позднее гематита, ильменита, рутила и биотита.

Наиболее богатое оруденение наблюдается в участках развития ранних амфиболитов. В зоне окисления встречаются карнитит, отенит, торбернит и карбонаты меди.

Содержание урана в руде колеблется от 0,05 до 0,38% при содержании TiO_2 от 7 до 25%. Запасы урана в месторождении составляют несколько тысяч тонн. Месторождение разрабатывается и является основной базой снабжения Австралии ураном. Руды обрабатываются на заводе в порту Пири.

Месторождение Тете в Мозамбике сходно по составу с месторождением Рейдиум Хилл. Оно имеет небольшой масштаб, свя-

зано с основными интрузивами и представлено значительным количеством рудных тел. Рудные тела, характеризующиеся незначительным протяжением на глубину, разрабатывались в небольшом масштабе открытыми работами.

Важными поисковыми признаками и оценочными критериями месторождений давидитовой формации являются:

1. Распространение мелких интрузивов и даек натриевых аплитов, плагиогранитов и основных пород с повышенным кларком урана или несущих титановое и магнетитовое оруденение с проявлением радиоактивности.

2. Тектонические зоны смятия и дробления в различных силикатных породах, сопровождающиеся минерализацией биотита, ильменита, магнетита и гематита, а также скаполитизацией с пироксеном, полевым шпатом и карбонатом.

3. Участки пересечения тектоническими нарушениями амфиболитов и других основных титансодержащих пород и проявление среди них давидитовой минерализации, фиксируемой в шлихах.

4. Наличие на выходах тектонических зон вторичной урановой минерализации в виде урановых слюдок.

Золото-молибденовая формация с ортитом, монацитом и уранинитом

Эта рудная формация имеет ограниченное распространение и небольшое значение в общем балансе добычи и запасов урана. Месторождения известны лишь в Британской Колумбии. В большинстве случаев они имеют небольшие размеры и являются непромышленными.

Наиболее типичные представители данной формации — месторождения Виктория и Литл-Джем. Близкие по составу руд месторождения Виктория и Литл-Джем приурочены к крупным батолитовым интрузивам Берегового хребта гранодиоритового и гранитового состава и залегают среди слагающих их пород. Интрузивы имеют позднемезозойский возраст и прорывают древние толщи.

Месторождения представлены сравнительно небольшими жилами, сложенными роговой обманкой, биотитом, молибденитом, золотосодержащим арсенопиритом и арсенидами кобальта. Из урановых и урансодержащих минералов присутствуют уранинит, ортит и монацит. В подчиненном количестве встречаются пирротин, пирит, халькопирит и из нерудных — кварц и апатит.

Жилы залегают в рассланцованных зонах и сопровождаются дроблением. Выделяется несколько стадий минерализации. Уранинит, по мнению Стивенсона, был образован во вторую стадию минерализации после роговой обманки и биотита в ассоциации с апатитом, ортитом и монацитом.

Подгруппа 2. Средне-и низкотемпературные месторождения

Это очень большая группа наиболее распространенных гидротермальных месторождений урана, имеющих важное промышленное значение. Многие месторождения данной группы характеризуются высоким содержанием урана в руде: от 0,2—0,3% до нескольких процентов. Руды месторождений в большинстве случаев смолковые, часто контрастные, что позволяет при разработке месторождений производить отбор богатых концентратов простыми методами и обрабатывать месторождения даже с маломощными жилами и с мелкостолбовым распределением оруденения.

Рассматриваемая группа месторождений объединяет большое число рудных формаций, нередко существенно различающихся по составу руд и геологическим особенностям месторождений. Характерно, что некоторые рудные формации встречаются в пределах одних и тех же рудных полей, приурочиваясь лишь к различным геологическим структурам. По условиям минералообразования, в частности, по температуре основных стадий минерализации, включаемые в данную группу рудные формации несколько разнородны. Рассмотрим их от более высокотемпературных к менее высокотемпературным.

Железо-урановая формация

Месторождения данной формации имеют важное промышленное значение, хотя в природе встречаются довольно редко.

Главной чертой месторождений рассматриваемой формации является залегание среди железистых кварцитов и сопровождающих их пород, входящих в состав древних докембрийских толщ. Породы сильно дислоцированы, прорваны кислыми гранитами. При этом граниты интенсивно мигматизируют метаморфическую толщу. Другой не менее важной особенностью месторождений такого типа является их приуроченность к участкам развития гематито-магнетитовых руд и сопровождающих их проявлений щелочного метасоматоза, выраженного в интенсивной эгиринизации, родузитизации и альбитизации. Щелочной метасоматоз сопровождается также карбонатным метасоматозом. Вне проявлений щелочного метасоматоза промышленное оруденение отсутствует. Эти важные общие черты, однако, еще не определяют наличия промышленного оруденения, локализация которого в значительной мере зависит от структурных и литологических условий и, возможно, от положения рудоносных источников.

Обычно данные месторождения урана приурочены к участкам проявления интенсивной складчатости железистых пород,

выраженной в развитии весьма крутых, до вертикальных, или поперечных складок, осложненных многочисленными крутыми кольцевыми срывами, зонами смятия, дробления и мелкой трещиноватостью различных направлений (рис. 14, 15). Рудные тела имеют преимущественно форму согласных жилообразных, столбообразных и линзообразных тел. Некоторые из них слепые, не имеющие выхода на поверхность; часто наблюдаются послерудные нарушения.

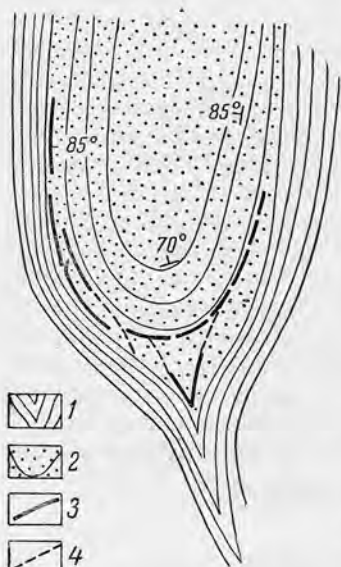


Рис. 14. Схема строения месторождения, приуроченного к центриклинальному замыканию синклинали (план) (по Л. И. Лукину и Е. П. Соношкину)

1 — породы роговиковой толщи; 2 — породы сланцево-карбонатной толщи; 3 — рудные тела; 4 — до-рудные тектонические нарушения

Рудные тела обычно размещаются в шарнирных частях складок различных, преимущественно мелких порядков, а также в структурах межформационных отслоений и связанных с ними зонах смятия и трещиноватости. Крупные дорудные разломы, сопровождающиеся мощными брекчиями, в рассматриваемых месторождениях, как правило, оруденения не несут.

По составу руд и структурным особенностям в месторождениях данной формации выделяется несколько типов рудных тел.

1. Пластообразные залежи в альбититах с уранинитом, магнетитом, гематитом, эгирином, родузитом, иногда с малаконом и с более поздними прожилковыми выделениями урановой смолки, ненадkevита, арагонита и графита. Эти залежи располагаются преимущественно в центриклинальном замыкании сильно сжатой синклинали с крутопогружающимся шарниром.

2. Линзообразные залежи магнетита, гематита, карбоната и уранинита с местными скоплениями эгирина, альбита и родузита в участках резких и крупных перегибов толщи железистых пород.

3. Обособленные гнездообразные и столбообразные тела, представленные альбитом, доломитом, уранинитом, в других случаях — урановой смолкой и иногда присутствующими гезингеритом, сульфидами — пиритом, галенитом или марказитом, а также кварцем.

4. Обособленные пластообразные или гнездообразные тела, сложенные альбитом, щелочным амфиболом, эгирином и мала-

коном. В отдельных месторождениях наблюдаются рудные тела первого и второго типов, залегающие совместно.

Месторождения рассматриваемой формации образованы в результате длительно протекавшего процесса метасоматической минерализации. При этом имело место, по одним данным,

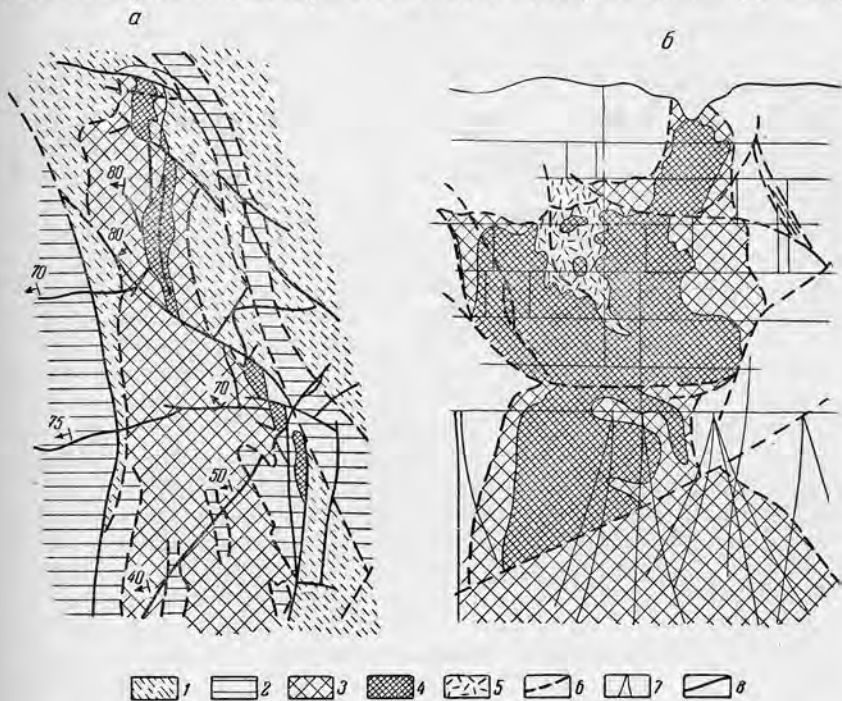


Рис. 15. Схема железо-уранового месторождения, приуроченного к резкому перегибу крутой складки, осложненной разломами (из книги Д. Я. Суражского «Методы поисков и разведки месторождений урана», 1960)

a — план горизонта горных работ; *b* — разрез в плоскости рудной зоны
 1 — хлорито-биотитовые сланцы; 2 — железистые роговики; 3 — железная руда; 4 — железо-урановая руда; 5 — минерализованные брекчии; 6 — дорудные тектонические нарушения; 7 — скважины; 8 — разломы

последовательное, по другим — одновременное зональное развитие железистого, щелочного, карбонатного и позднее кварцевого метасоматоза. Урановое оруденение было связано преимущественно с проявлением щелочного и карбонатного метасоматоза. Следует также отметить, что магнетито-уранинито-карбонатные и особенно смолково-сульфидные руды формировались в условиях сравнительно невысоких температур и в связи с этим с достаточным основанием могут быть отнесены к подгруппе среднетемпературных.

Схема минералообразования для месторождений данной формации показана на рис. 16.

О генезисе месторождений имеются различные толкования. Одни исследователи рассматривают их как гидротермальные образования и генетически связывают с розовыми микрокли-

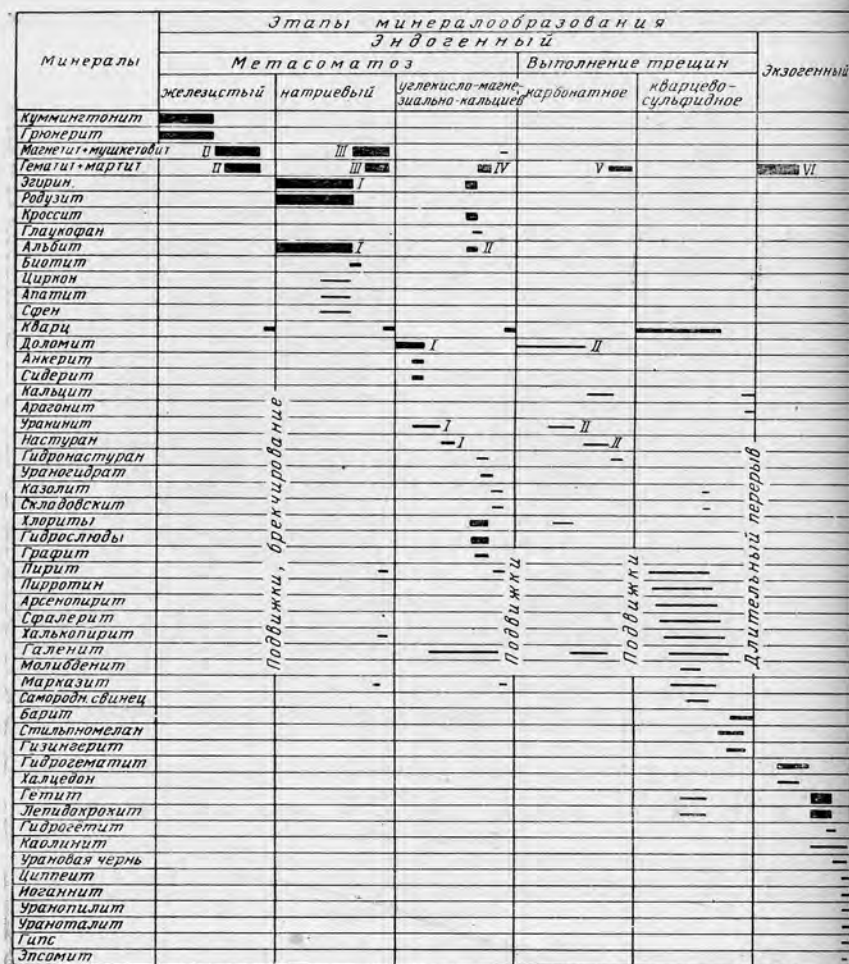


Рис. 16. Схема последовательности минералообразования железо-уранового месторождения (из книги Д. Я. Суражского: «Методы поисков и разведки месторождений урана», 1960)

новыми гранитами. Другие считают, их метаморфогенными, образованными за счет выноса урана из осадочных пород при их метаморфизме. Первая точка зрения представляется более вероятной.

К данной рудной формации можно также отнести сравнительно редко встречающиеся месторождения, представленные преимущественно торий- и урансодержащими тантало-ниобатами с флюоритом и редкими землями. Оруденение выражено вкрапленностью и жилками в краевых частях крупного метасоматического тела гематитовых руд среди полосчатых железистых пород синийского возраста вблизи поля широкого развития доломитов и сопровождается эгиринизацией, рибекитизацией и альбитизацией.

Медно-урановая формация с никелем, кобальтом и селеном

Месторождения медно-урановой формации по составу также занимают промежуточное положение между высоко- и среднетемпературными. Ряд особенностей месторождений данной формации позволяет некоторым исследователям сомневаться в их гидротермальном происхождении. Так, эти месторождения приурочены к известному поясу медно-кобальтовых месторождений Конго и Северной Родезии, генезис которых давно является предметом дискуссий. Вне этого пояса месторождения урана рассматриваемой формации неизвестны.

Типичным для медно-урановой формации является весьма богатое и довольно крупное по размерам, можно сказать, уникальное месторождение Шинколобве, бывшее главным источником добычи урана капиталистических стран в течение многих лет. Другие известные месторождения этого типа имеют меньший масштаб; в некоторых из них ведется лишь попутная добыча урана. В настоящее время промышленное значение руд данной формации, по существу, определяется месторождением Шинколобве.

Отличительными особенностями оруденения рассматриваемой формации являются: удаленность месторождений от возможных магматических источников, залегание их среди пород доломитовой толщи (что редко встречается в гидротермальных месторождениях урана), весьма сложная структурная обстановка и, наконец, не менее сложный вещественный состав руд, в которых, кроме урана, в значительных количествах присутствует медь, кобальт, никель, селен, таллий и другие металлы. Наиболее типичным образованием данной формации является уникальное месторождение Шинколобве.

Месторождение Шинколобве. Это месторождение находится на территории Республики Конго. Оно расположено в бассейне р. Панди (левый приток р. Катанги), в 20 км к югу от крупного медного рудника Камбове, примерно в средней части Катангского синклинория. Месторождение открыто в 1915 г. военным топографом, вскоре после первого обнаружения урансодержащих минералов в месторождении Люисвиши. Его внимание было привлечено обилием желтых окисленных минера-

лов урана, мало характерных для медного оруденения этого района.

Разведочные работы и добыча руд были начаты в 1921 г., причем руды оказались настолько богатыми ураном, что уже первая партия добытых здесь руд привела к резкому падению мировых цен на уран. Добыча руд из этого месторождения еще в 1953 г. составляла 60% от общей добычи урана капиталистических стран, в дальнейшем она стала падать, составив в последние годы 800—1000 *t* в год.

Месторождение находится в пределах узкой складчатой зоны, располагающейся среди Южно-Африканского щита, причем в той части зоны, где она изменяет направление протяжения с северо-восточного на юго-восточное.

Район месторождения сложен породами архея (системы Луфибу и Мува) и протерозоя (системы Роан, Большого Конгломерата, Мвашиа и Кунделунгу). Граниты распространены лишь в юго-восточной его части. В 25 км от месторождения были отмечены более молодые дайки основного состава. В последние годы выявлены выходы трахитоидных интрузивных пород.

Складчатая зона Катанги характеризуется серией узких, часто опрокинутых складок, где из-под пород системы Кунделунгу по тектоническим контактам выступают породы Рудной серии. Складки осложнены многочисленными разрывами, среди которых большую роль приписывают надвигам.

Месторождение Шинколобве, как и другие более мелкие урансодержащие месторождения данной формации, сгруппированы в известном поясе медных месторождений, приуроченных к осадкам Рудной серии (Нижний и Верхний Роан), и отчасти — системы Мвашиа. Оно залегает в сильно окремненных породах Рудной серии, выступающих из-под пород системы Кунделунгу. Контакты между породами обеих серий тектонические.

Стратиграфический разрез пород Рудной серии (Роан) представлен в табл. 1 (снизу вверх).

Рудоносным является горизонт *SD*, представленный перемежающимися доломитовыми и графитовыми сланцами мощностью до 100 м. Благоприятными для рудоотложения являются также горизонты кремнистых доломитов с колениями и рассланцованных и окварцованных доломитов общей мощностью 18—29 м и отчасти сами доломиты.

Месторождение приурочено к выходам Рудной серии (Роан), выступающей в виде тектонического «окна» из-под пород системы Кунделунгу. Геологическая структура месторождения имеет глыбовый характер и выражена большим количеством разломов, сопровождаемых тектоническими брекчиями и тектонитами. Участок месторождения разбит на блоки и

ограничен крупными разломами: с юга Главным северо-восточного направления; с севера — разломом *AB* — широтным; с востока — Северо-Восточным и с запада — Северо-Западным разломом *EA* (рис. 17). Кроме того, участок разбит целым рядом более мелких сбросов. Брекчии широко развиты не только вдоль нарушений, но и по межпластовым срывам. Все блоки наклонены к северу. Угол падения пород около 60°. По данным Робера, структура месторождения имеет диапировый характер с протыканием породами системы Роан более молодых отложений Кунделунгу.

Таблица I

Горизонты и системы	Обозначения горизонтов	Породы	Мощность, м
1	RAT	Различные сланцы и доломиты	200
	RAT gr	Доломитовые песчаные сланцы	3—15
	DS	Слоистые и узловатые доломиты	2—5
2	RSF	Рассланцованные окварцованные доломиты	3—9
3	RSC	Кремнистые доломиты	15—20
4	SD	Чередующиеся доломитовые и графитовые сланцы	50—100
5	CMN	Различные доломиты	100—400
Дипета	RGS	Доломиты, псаммиты, песчаники и сланцы	150—250
Мофья		Доломиты, сланцы или песчаники	45
Мвашиа		Яшмы, доломиты, сланцы, конгломераты, пластинчатые сланцы, кварциты	250—400
Большой Конгломерат Кунделунгу		Конгломераты	300—600
		Известняки, известковистые и аркозовые песчаники, сланцы, тиллиты и др.	До 1500

Оруденение представлено неправильными штокверковыми или сплошными жилообразными скоплениями, связанными с нарушениями, а также широко распространенными вкрапленниками в литологически благоприятных для локализации руд породах. Жилы мало выдержанные, часто ориентированы по напластованию и имеют изменчивое падение. В главных разломах и зонах брекчий оруденение отсутствует. Оруденение прослежено на глубину 185—255 м и постепенно ослабевает, начиная с глубины 220 м.

В целом месторождение представляет собой ряд неправильных тектонически разобщенных оруденелых блоков, контролирующихся разломами, брекчированием, литологическим составом пород, а также экранировавшими плотными сланцами.

зажатыми в виде тектонических клиньев, обуславливавшими проявление фильтрационного эффекта.

Основные этапы в развитии структуры месторождения следующие:

1. Складчатость и надвиги (или образование диапировых складок), внедрение магмы и образование тектонитов.

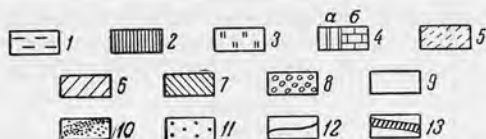
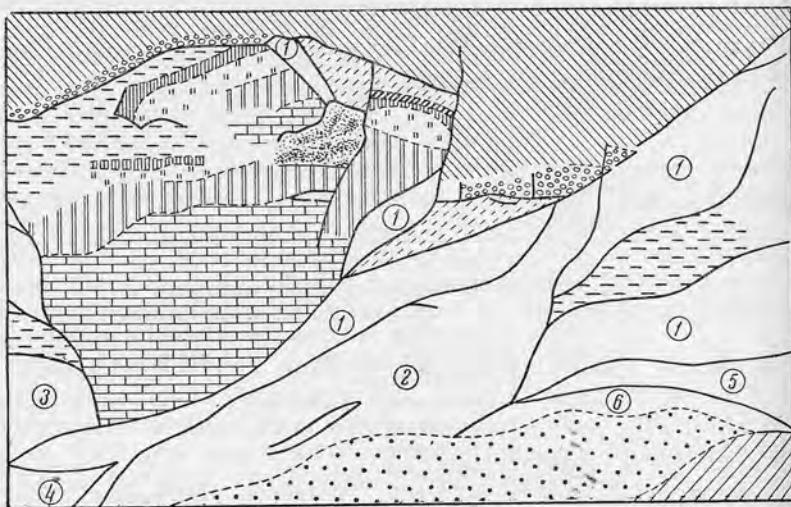


Рис. 17. Схема месторождения Шинколобве (по Ж. Ж. Дерриксу и Ж. Ф. Вазу)

1 — сланцы и доломиты RAT; 2 — рассланцованные кремнистые доломиты RSF; 3 — кремнистые доломиты RSC; 4 — α — доломиты CMN; β — перемежающиеся доломитовые и графитовые сланцы SD; 5 — пласт Казоло; 6—7 — горизонт Кунделунгу; 6 — нижний, 7 — средний; 8 — конгломерат, 9 — грубые тектонические брекчии, 10 — брекчии, 11 — перекрывающая толща пород, 12 — разломы, 13 — доломитизированные песчаные сланцы.

Цифрами на карте показаны: 1 — лиловая глинистая брекчия, 2 — верхний RAT или розовая брекчия CMN, 3 — розовые глинисто-песчаные сланцы, 4 — RAT или CMN верхний, 5 — графитовые сланцы Мвашиа, 6 — брекчия Кунделунгу-Мвашиа

2. Блоковые движения, образование брекчий и проявление ранней минерализации (магнетитизация).

3. Повторные движения по разломам и брекчирование; открывание некоторых нарушений, являющихся, возможно, опережающими главных разломов, и формирование главных стадий минерализации.

4. Новое дробление, заключительная стадия минерализации и перекристаллизация руд.

Первичные руды урана представлены уранинитом с большим или меньшим участием сульфидов кобальта и никеля, а также целого ряда других минералов.

Уранинит имеет ничтожную примесь тория. Часто образует сплошные массы и кристаллы, почти нацело слагая гнездообразные скопления, жилы и прожилки. Урановая смолка не встречается. Нередко уранинит обнаруживается в парагенезисе с вазситом (NiS_2), реже — с каттиеритом (CoS_2). Часто присутствует в виде вкрапленности.

Сульфиды никеля и кобальта широко распространены и нередко образуют самостоятельные скопления и жилы. Кроме каттиерита и вазсита, встречаются зигенит (никельсодержащий линнеит — $(\text{CoNi})_3\text{S}_4$), замещающий вазсит. Значительное распространение имеют селениды — селеноваэсит, селенозигенит и другие. С селенидами часто связано самородное золото. Из других минералов обычны пирит, часто в парагенезисе с каттиеритом, халькопирит, борнит, ковеллин, дигенит, молибденит и селеномолибденит, палладинит (?), монацит. Жильные минералы — магнезит, доломит, кварц, хлорит. Наиболее развиты магнезит и доломит; кварц распространен мало. Магнезит образует изолированное тело в брекчиях выполнения; в урановых рудах почти не встречается.

Окисленная зона развита интенсивно и представлена многочисленными и разнообразными гидроокислами урана: это — кюрит, фурмарьерит, янтинит, баккерелит; силикаты — казолит, складовскит, уранофан; карбонаты — ретзерфордит; фосфаты — торбернит; из других минералов присутствуют асблан, гарниерит, гетерогенит, вульфенит и др. На глубине 40—50 м окисленная зона сменяется первичными рудами. В рудах присутствуют также медь, церий, торий и в незначительном количестве золото и платина. В других месторождениях данной формации ассоциация с медью выражена еще сильнее.

При формировании месторождения имели место следующие стадии минерализации:

а) образование магнезитового тела в открытой трещине и магнезитизация доломитов;

б) отложение уранинита по трещинам (главная рудная стадия);

в) отложение молибденита, монацита и хлоритизация пород;

г) отложение сульфидов кобальта и никеля, после чего последовали тектонические движения, дробление и отложение доломита;

д) выделение халькопирита;

е) гипогенная перекристаллизация с замещением вазсита и каттиерита зигенитом и с образованием дигенита, умангита, самородного золота, мелонита и голубого селенида.

Изучавшие месторождение Деррик и Ваэз относят его к гидротермальным на основании следующих данных:

1. Месторождение является эпигенетическим по отношению к вмещающим породам, что доказывается не только геологическим его положением, но также определением абсолютного возраста уранинита, составляющего 650 млн. лет при возрасте вмещающей толщи 1000—1200 млн. лет.

2. Вблизи от месторождения выявлено несколько выходов магматических пород, которые, возможно, указывают на то, что источниками оруденения являлись скрытые на глубине магматические породы.

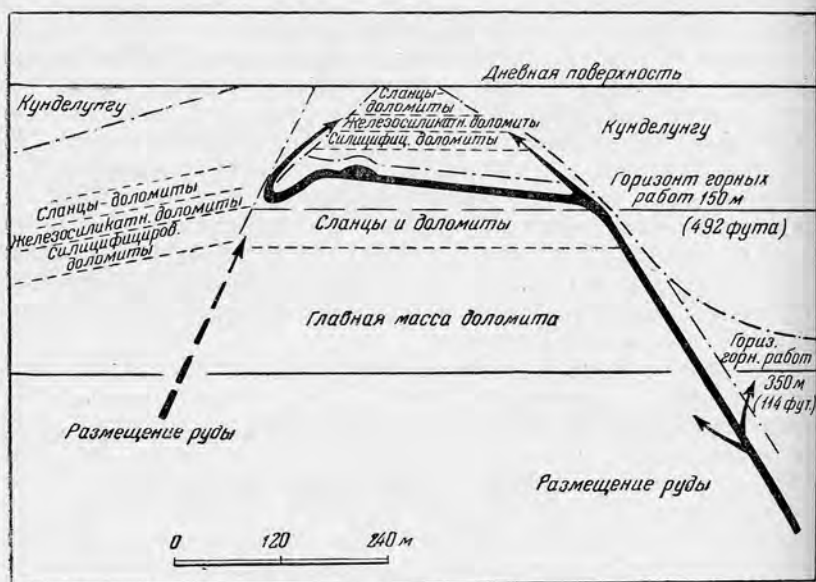


Рис. 18. Схема формирования месторождения Шинколобве (по Дерриксу и Ваэсу)

3. Оруденение явно контролируется разломами и тектоническими брекчиями (см. рис. 17).

4. Руды имеют сложный многокомпонентный состав.

Кроме того, о гидротермальном характере месторождения свидетельствуют многостадийность оруденения, текстуры и структуры руд, а также следующие данные:

5. Наблюдается скопление руд под тектоническим клином сланцев, что указывает на восходящий характер рудоносных растворов.

6. Форма рудного тела — жилы и штокверки — свойственна гидротермальным месторождениям.

7. В уранините отмечена примесь олова, молибдена, вольфрама, висмута и бора.

8. Имеют место окремнение и турмалинизация боковых пород.

В пользу метаморфогенного происхождения месторождения приводятся следующие соображения (Гарлик, Домарев):

1. Отсутствие интрузивов, чему, однако, противоречат новые данные.

2. Приуроченность уранового оруденения и связь его с месторождениями меди, рассматриваемыми некоторыми исследователями как осадочно-метаморфогенные образования.

3. Незначительное развитие жильных минералов.

4. Приуроченность оруденения к определенным стратиграфическим горизонтам.

5. Отсутствие оруденения в крупных разломах.

На рис. 18 показана схема формирования месторождения по Дерриксу и Ваэсу.

Смолково-сульфидная формация

В наиболее типичном своем выражении данная формация представлена жильными или прожилкового типа месторождениями. Это наиболее характерные среднетемпературные образования, имеющие весьма широкое распространение в различных ураноносных провинциях.

В составе руд вместе с кварцем, карбонатом, иногда баритом значительное участие принимают пирит, галенит, сфалерит, халькопирит и урановая смолка. В ряде случаев указанный состав руд усложняется развитием в них арсенопирита, иногда сложных сульфосолей, висмутового блеска, самородного висмута, реже аргентита, красных серебряных руд и самородного серебра. По составу к данной формации также приближаются месторождения, представленные урансодержащими сульфидными или кварц-сульфидными жилами с магнетитом и самородным золотом.

Урансодержащие месторождения с промышленным содержанием золота и серебра разрабатываются комплексно (Чиуауа в Мексике Кирк, и Джо Рейнольдс в США и др.).

Таким образом, внутри рассматриваемой формации по вещественному составу можно выделить следующие типы месторождений: а) смолково-галенит-сфалеритовый; б) смолково-галенит-сфалеритовый с арсенопиритом; в) смолково-галенит-сфалеритовый с сульфидами меди и висмута; г) смолково-галенит-сфалеритовый с золотом; д) смолково-молибденитовый.

Месторождения смолково-сульфидной формации иногда ассоциируют с кварц-касситеритовыми и кварц-вольфрамитовыми жилами. Обычно эти месторождения пространственно, а в некоторых случаях и генетически, связаны с интрузивами гранитного состава. Пространственная и генетическая их

связь с интрузивами устанавливается в некоторых случаях по наличию горизонтальной зональности в расположении различных по составу рудных тел. Так, например, непосредственно у интрузива располагаются кварц-касситеритовые и кварц-вольфрамитовые жилы, которые далее от массива сменяются смолково-сульфидными жилами. Более того, оловорудные жилы обычно имеют «корни» в грейзенах среди рудоносных гранитов. (А. Г. Бетехтин). Иногда они также содержат незначительное количество смолки, а смолково-сульфидные жилы нередко содержат станин, касситерит и вольфрамит (Рудные горы).

В некоторых ураноносных районах руды смолково-сульфидной формации наблюдаются вблизи или вместе с рудными образованиями пятиэлементной формации и с кварцево-гематитовыми марганцевистыми жилами (Шварцвальд, Рудные горы), либо с сидеритовыми жилами с тетраэдритом (округ Кер-Д'Ален в США). В районе Фронт Рендж (США, Айдахо) ураноносные и золотосодержащие свинцово-цинковые жилы, пространственно связанные с бостонитами, ассоциируют с низкотемпературными серебросодержащими жилами, также содержащими уран (месторождение Джо-Рейнольдс). Известны районы, где месторождения рассматриваемой формации обособлены и не связаны с месторождениями других типов.

Месторождения данной формации наблюдаются в различных по составу, преимущественно силикатных породах — сланцах, эффузивах, гранитоидах и т. п. Вблизи рудных тел вмещающие породы обычно осветлены и окварцованы, серицитизированы и каолинизированы.

Для некоторых районов очень характерна приуроченность месторождений к вулканогенным толщам пестрого, преимущественно кислого или субщелочного состава, и пространственная их связь с малыми интрузивами трещинного типа. Месторождения часто бывают расположены в оперяющих нарушениях второго, третьего и больших порядков и при этом не на сопряжении их, а на некотором удалении. В верхних горизонтах отдельных месторождений породы альбитизированы, а в нижних — серицитизированы со следами спорадической гематитизации. Местами наблюдается хлоритизация. С дорудной хлоритизацией площадного типа, выраженной новообразованиями богатого закисным железом хлорита, иногда связано богатое урановое оруденение.

В ряде месторождений при изменении пород проявляется метасоматическая зональность околотрещинного типа: первая зона мощностью до 15 см представлена кварцем и серицитом, вторая, мощностью 5—7 мм, — монтмориллонитом и третья, мощностью до 30 см, — серицитом и коалинитом (месторождение Карибу в США). Часто ураноносные зоны сопровождаются окварцеванием и гематитизацией, характеризующейся покраснением пород.

Время образования месторождений формации различно. Известны месторождения, связанные с варисскими, ларамийскими, реже — позднеальпийскими интрузивами.

Месторождения смолково-сульфидной формации представлены простыми жилами, трещинными зонами и штокверками, часто связанными с крупными разломами. Многие рудные тела приурочены к участкам и зонам брекчирования, а также к структурам контактов, в частности, к контактам кислых даек (месторождение Чиуауа).

Отложение руд, по-видимому, происходило преимущественно в открытых трещинах при средних температурах на глубине около 2 000 м (Е. Бастин и Д. Хилл). Вместе с тем нередки случаи образования руд на меньших, даже на малых глубинах, о чем свидетельствует наличие в рудах барита и эннергита (месторождение Централ-Сити в США и др.).

Для многих месторождений характерно столбообразное строение рудных жил. Протяженность рудных жил на глубину достигает нескольких сотен метров и редко превышает 600—700 м (Джилпин, США и др.). Протяжение отдельных рудных столбов, обогащенных ураном, на глубину обычно не превышает 100—150 м. Нередко встречаются слепые рудные тела.

Минерализация обычно протекает в несколько стадий, разобщенных тектоническими подвижками и дроблением, или выражена самостоятельными жилами. Урановая смолка в одних случаях ассоциирует с ранними сульфидами (месторождение Централ-Сити, США), в других, — с более поздними сульфидами (месторождение Карибу, США); в третьих смолка была образована в позднюю стадию вместе с карбонатами (месторождение Лаример, США и др.).

Многие месторождения рассматриваемой формации имеют важное промышленное значение, но по масштабу оруденения принадлежат преимущественно к средним и мелким с запасами урана порядка 2—3 тыс. т и меньше. Содержание урана в рудах колеблется в широких пределах, но в среднем составляет около 0,2—0,4%. Руды нередко контрастные, позволяют вести отборку с непосредственным получением урановых концентратов даже из мелких месторождений. Имеются месторождения, представленные большим числом жил средних размеров, и жилами, протягивающимися на расстояние до 1 км и более при мощности 1—2 м.

К данной формации близок обычно обособленный смолково-молибденитовый тип месторождений. Он характеризуется, тем, что в рудах, кроме урановой смолки, постоянно, хотя обычно и в небольшом количестве, присутствуют молибденит, а также арсенопирит; другие сульфиды имеют ничтожное развитие или отсутствуют. Из жильных минералов в небольших количествах отмечены кварц, карбонат, хлорит, альбит; иногда турмалин и флюорит.

В детально изученных месторождениях данной формации выделяют три стадии формирования: кварцево-серицитовую, кварцево-смолковую и кварцево-карбонатную; другой особенностью этих месторождений является их приуроченность к вулканогенным толщам, причем для некоторых из них установлена генетическая связь с вулканическими жерлами и субвулканическими малыми интрузивами кислого состава.

Месторождения приурочены к зонам разломов и к участкам сопряжения с ними оперяющих нарушений или к обособленным системам параллельных трещин.

Типичными представителями смолково-сульфидной формации являются месторождения хребта Фронт-Рейндж в США.

Месторождения Фронт-Рейндж. Эти месторождения расположены у г. Канзас-Сити в штате Вайоминг (США). Район месторождения представляет собой часть антиклинория (рис. 19), сложенного на всем протяжении (около 320 км) комплексом докембрийских пород, в пределах которого выделяются следующие формации (снизу вверх):

1. Формация Айдахо Спрингс, слагающая центральную часть антиклинория и представленная кристаллическими сланцами и гнейсами общей мощностью около 6000 м.

2. Формация Свандайт, распространенная на крыльях антиклинория и сложенная роговообманковыми гнейсами и сланцами общей мощностью около 1800 м.

3. Серия кварцитов и конгломератов мощностью не менее 4200 м, известная только на восточном крыле антиклинория.

Крылья антиклинория осложнены продольной и поперечной складчатостью. Ось антиклинория имеет меридиональное направление, осложненное в районе Централ-Сити изгибом.

Докембрийская толща прорвана двумя комплексами интрузивных пород: докембрийским и ларамийским. К докембрийскому комплексу относятся разгнейсованные кварцевые монзониты и средне- или мелкозернистые граниты, залегающие в виде штоков и батолитов. В ларамийский комплекс входят дайки и небольшие интрузивы диоритов, монзонитов, кварцевых монзонитов, бостонитов, щелочных сиенитов и щелочных трахитовых порфиров. Породы докембрийского возраста слагают обширные площади; ларамийские интрузивы распространены узкой (3,2—16 км) полосой, параллельно оси антиклинория. В южной и северной частях района эта полоса имеет меридиональное простирание, а в центральной повторяет в общих чертах изгиб оси антиклинория. В пределах полосы развития ларамийских интрузивов и сосредоточены все известные в районе месторождения урановых руд.

Рудные тела локализуются в жилах северо-восточного, реже широтного простираний, косо ориентированных к оси антиклинория и к полосе ларамийских интрузивов. Характерно, что из многочисленных жил северо-восточного и широтного простира-

ний рудными являются обычно жилы, расположенные внутри указанной полосы развития интрузивных пород.

Основные разломы были, очевидно, заложены еще в процессе складчатости параллельно осям складчатых сооружений.

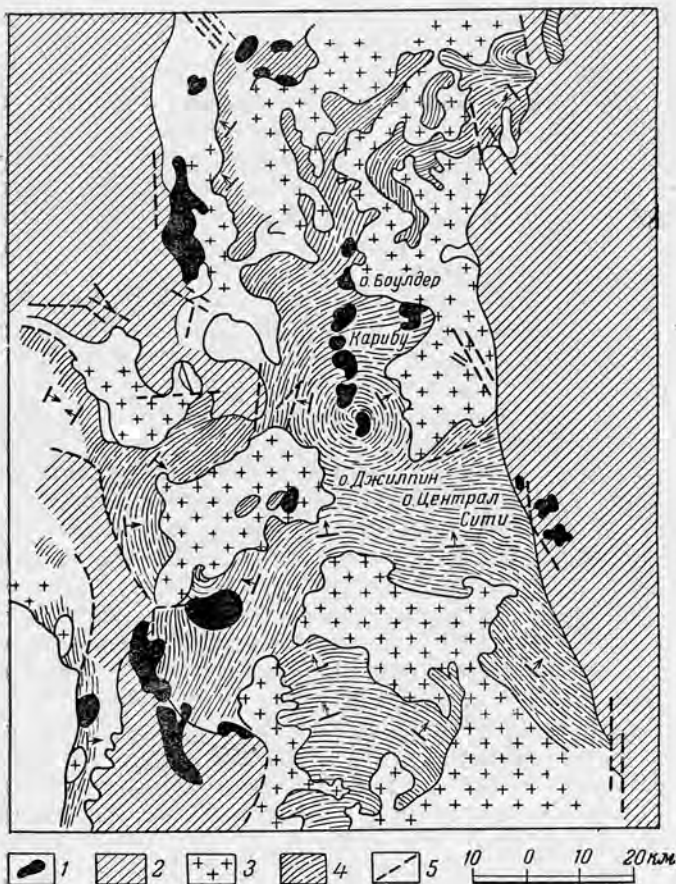


Рис. 19. Схематическая геологическая карта района месторождений хребта Фронт Рейндж, США (по Смит)

1 — ларамийские интрузивы; 2 — осадочные породы палеозоя, мезозоя и кайнозоя; 3 — протерозойские граниты; 4 — кристаллические сланцы и гнейсы докембрия; 5 — сбросы

Они же, по-видимому, послужили путями внедрения докембрийских гранитоидных интрузивов, а в эпоху ларамийского тектогенеза контролировали молодые интрузивы. Дайки ларамийских гранитоидов внедрились вдоль трещин меридионального и северо-западного направлений. Очевидно, что ко времени внедрения ларамийских интрузий в пределах полосы су-

ществовали трещины как меридионального, так и северо-западного простираний. Не исключено, что в это время была также заложена система северо-восточных трещин, вмещающих оборудование. Наблюдениями установлено, что в эпоху внедрения ларамийских гранитоидов меридиональные трещины приоткрывались несколько раз, в то же время большая часть трещин северо-западного и северо-восточного простираний были, как правило, плотно притерты. Следует также указать, что трещины северо-западного направления были закрытыми и в период заполнения северо-восточных рудоносных трещин. Результатом этого явилось формирование различных типов рудных скоплений — рудных столбов в местах ограничения северо-восточных рудоносных трещин дорудными северо-западными трещинами и жил в трещинах скола, косо ориентированных к оси антиклинория и полосе интрузивных пород.

Месторождения первого типа довольно широко распространены в округах Боулдер и Централ-Сити, но промышленное значение их невелико: рудные жилы редко прослеживаются на глубину более 25—30 м и, как правило, характеризуются бедными рудами. Так, например, месторождение Централ-Сити (рис. 20) представлено серией жил. Главными рудными минералами здесь являются пирит, халькопирит, теннантит, самородное золото, серебро; подчиненное значение имеют галенит, сфалерит, самородный висмут, молибденит, висмутит, тетраэдрит, сylvанит, энаргит, урановая смолка; жильными минералами являются кварц, кальцит, сидерит; также встречаются флюорит и полевой шпат. По мнению Е. Бастина, минерализация здесь протекала в две стадии: в первую были отложены пирит, урановая смолка, халькопирит и кварц, во вторую — галенит, сфалерит, халькопирит, кварц и сидерит.

Месторождения второго типа известны в тех же округах. Наиболее крупными являются Вуд, Джерман, Бельзер, Кирк, Джо-Рейнольдс и Карибу. На каждом из них разрабатываются жилы северо-восточного простирания (месторождения Вуд, Джерман и Бельзер, Джо-Рейнольдс) или широтного (Кирк, Карибу) мощностью от 15 до 60 см. Жилы месторождений Вуд, Кирк, Джерман, Бельзер, Джо-Рейнольдс выполнены в основном кварцем, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и урановой смолкой. В месторождениях Кирк и Джо-Рейнольдс известны также минералы, содержащие серебро и золото.

Несколько отличной минерализацией, имеющей сходство с минерализацией пятиэлементной формации, характеризуется месторождение Карибу. Рудные жилы месторождения приурочены к трещинам скола северо-западного простирания и к широтным трещинам растяжения. Рудные столбы располагаются в участках сопряжения трещин и в местах их изгиба.

Ураноносными являются свинцово-цинковые жилы, залегающие в мондонитах. Они сложены кварцем, халцедоном, каль-

цитом, сидеритом, баритом и рудными минералами: урановой смолкой, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, а также герсдорфитом (?), аргентитом, пираргиритом и самородным серебром. Минерализация протекала в две стадии:

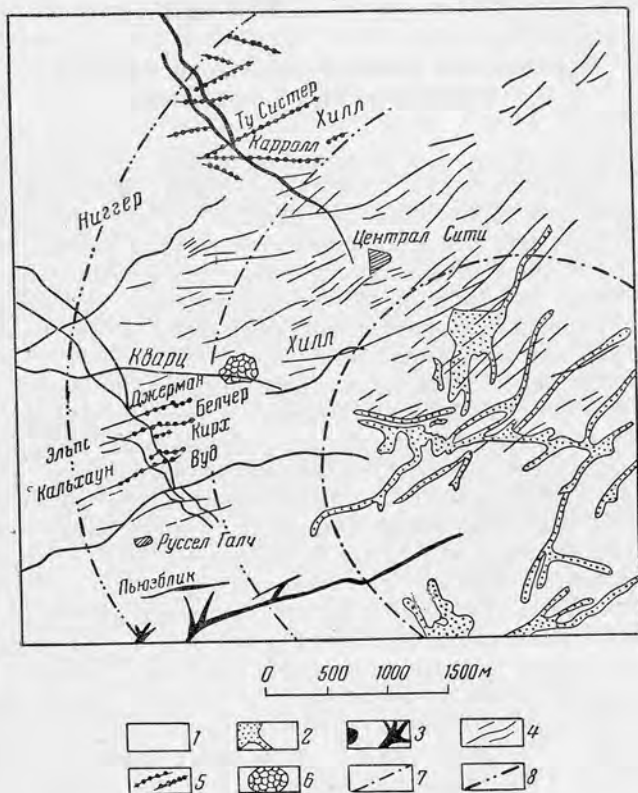


Рис. 20. Схематическая геологическая карта района Централ-Сити (из книги М. М. Константинова и Е. Я. Куликовой «Урановые провинции», 1960 г.)

1 — образования докембрия; 2 — кварцевые монцитониты; 3 — бостониты; 4 — рудные жилы; 5 — ураноносные жилы; 6 — рудная брекчия; 7 — контур площади выходов кварцевых монцитонитов; 8 — контур ураноносной зоны

в первую выделялись кварц, кальцит, сидерит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, во вторую — герсдорфит, халцедон, урановая смолка, сфалерит, халькопирит, колломорфный пирит, аргентит, самородное серебро.

Скопление урановой смолки приурочено к лежащему боку жил. Мощность жил 2,5—1,5 см, падение крутое. Примечательно, что золоторудные жилы месторождения, залегающие в древних гнейсах, обычно не ураноносны.

Месторождения Фронт Рейндж имеют ларамийский возраст и по масштабам оруденения являются сравнительно небольшими.

Месторождения смолково-сульфидной формации известны также в Рудных горах.

Уран-никель-кобальт-серебро-висмутовая (пятиэлементная) формация

Изучение ряда рудных районов показало, что промышленное значение месторождений пятиэлементной формации более скромно, чем это представлялось раньше. Те месторождения, которые нередко относили к образованиям данной формации, в действительности часто оказывались представителями других формаций и типов. Месторождения пятиэлементной формации представлены рудами сложного состава, хотя в них не всегда присутствуют все пять указанных элементов.

При продолжительном периоде формирования некоторых месторождений иногда в пределах одного и того же месторождения присутствуют различные по составу рудные тела, формирование которых отражает разные последовательные этапы и стадии единого, хотя и прерывистого гидротермального процесса. Поэтому среди месторождений данной формации может быть дополнительно выделен ряд типов. В частности, В. Г. Мелков выделяет следующие типы: а) уран-никель-кобальт-висмутовый; б) серебро-никель-урановый и в) серебро-мышьяк-урановый.

Г. Шнейдерхен среди месторождений той же формации различает такие типы: а) кальцито-серебряный (Конгсберг в Норвегии); б) серебро-кобальт-никелевый с ураном (месторождение Контакт в Канаде); в) пятиэлементный кальцитовый (Беллард-Пик в США); г) кобальт-висмут-урановый с баритом (Западные Рудные горы) и др. Отметим, что между этими типами месторождений имеются промежуточные. Так, известны месторождения, занимающие промежуточное положение между рассматриваемой формацией и охарактеризованной выше смолково-сульфидной, с одной стороны, и смолково-кварц-карбонатной и смолково-флюоритовой формациями — с другой.

Руды месторождений пятиэлементной формации представлены преимущественно арсенидами никеля и кобальта: никелином, раммельсбергитом, хлоантитом, шмальтином, сафлоритом, а также самородным висмутом, самородным серебром, жильными минералами — кварцем, карбонатом, реже баритом и присутствующими обычно в небольшом количестве пиритом, халькопиритом, галенитом и сфалеритом. Урановое оруденение обычно представлено урановой смолкой, часто образующей мономинеральные полосы и прожилки с крупными натечными почкообразными выделениями этого минерала.

Нередко в рудных жилах наблюдается вертикальная первичная зональность; верхние части жил сложены серебряными рудами, а более глубокие — никель-кобальт-висмутовыми. Вместе с тем в распределении урановой смолки вертикальной зональности не отмечается. Она присутствует на разных гипсометрических уровнях и распространена ниже кобальт-висмутовых руд. Для некоторых месторождений этого типа выделения урановой смолки приурочены к поздним стадиям минерализации.

В качестве типичного примера оруденения пятиэлементной формации могут служить месторождения района Большого Медвежьего озера (Канада).

Месторождения Большого Медвежьего озера. Эти месторождения слагают большой район и расположены в северо-западной части Канадского щита. По данным Ф. Г. Гендерсена, древнейшими породами района (рис. 21) являются архейские эффузивно-осадочные толщи Иеллоунайф—андезиты, базальты, туфы, агломераты, граувакки, аркозы, сланцы, собранные в складки. Они прорваны архейскими гранитами и несогласно перекрыты отложениями раннего протерозоя, прорванными в свою очередь более поздними гранитами. Выше залегают образования позднего протерозоя.

К раннепротерозойским образованиям относятся конгломераты, аркозы и сланцы района оз. Ноначо — серия Ноначо; доломиты и эффузивы бассейна Большого Невольничьего озера; кластические породы, доломиты и андезиты, развитые севернее этого озера — группа Снар; известняки, эффузивные и интрузивные порфиры района Большого Медвежьего озера. Последние наблюдаются в районе бухты Эхо. Все эти образования считаются близкими по возрасту.

Породы раннего протерозоя смяты в относительно пологие складки и несогласно перекрыты отложениями позднего протерозоя. К последним относятся породы бухты Камерон и бухты Хорнби района Большого Медвежьего озера, которые коррелируются с породами серии Эт-Тен района Большого Невольничьего озера. Повсеместно позднепротерозойские породы представлены конгломератами и песчаниками и вместе с подстилающими породами секутся дайками диабазов.

В структурном отношении в районе месторождений выделяется три структурных яруса снизу вверх:

1. Породы архея интенсивно дислоцированы и сложены в крутые, сильно сжатые, иногда изоклиналильные складки, особенно резко выраженные в осадочных породах. Направление осей складок меридиональное или северо-восточное с отклонением вблизи гранитных массивов к северо-западному. По мнению Гендерсена, с предпротерозойской складчатостью было связано внедрение древних гранитов.

2. Породы раннего протерозоя, несогласно залегающие на архее, сложены в пологие складки с падением крыльев, не пре-

вышающим 45°. С предподнепротерозойскими движениями было также связано внедрение гранитов, обнажающихся в районе урановых месторождений.

3. Породы позднего протерозоя несогласно залегают на образованиях раннего протерозоя. Характеризуются почти горизон-



Рис. 21. Схематическая геологическая карта района Большого Медвежьего озера (по Д. Кидду и М. Хейкоку)

1 — основные породы; 2 — граниты; 3 — гранодиориты и диориты; 4 — породы группы Камерон; 5 — породы группы Эхо; 6 — нерасчлененные породы докембрия; 7 — незакартированные площади, 8 — месторождения урана, 9 — сбросы

тальным залеганием с падением, обычно не превышающим 15°. Породы верхнего протерозоя, представленные группой Камерон, интрузиями гранитов не прорываются, но секутся дайками основного состава. Иного мнения придерживается Фурнивол, который считает, что они интродированы биотитовыми гранитами мыса Доудем, а также гранодиоритами.

Урановые месторождения в районе Большого Медвежьего озера распространены довольно широко. Основное значение среди них имеют месторождения Эльдorado и Контакт, относящиеся к пятиэлементной формации.

Месторождение Эльдorado. Это месторождение было открыто в 1930 г. по выцветам меди и кобальта, а также по проявлениям серебра и висмута, наблюдавшимся среди сильно гидротермально измененных пород.

Оно расположено в труднодоступной полярной местности на мысе Лабин Пойнт, вблизи залива Эхо, на расстоянии более 1400 км от железной дороги. Сообщение с рудником осуществлялось преимущественно воздушным путем. Производительность построенной обогатительной фабрики составляла 180 т руды в сутки. Обработка руд производится в г. Порт-Радий на берегу Большого Медвежьего озера.

Мыс Лабин (рис. 22) сложен преимущественно нижними горизонтами пород группы Эхо, представленными снизу вверх плотными туфами, затем тонкополосчатыми кремнистыми осадочными породами, туфами и известняками, далее полевошпатовыми порфирами, порфиритами и осадочно-вулканогенными породами с подчиненными им силлами и другими мелкими интрузивами; мощность вулканогенной толщи более 600 м.

Породы группы Камерон, располагаясь выше пород группы Эхо, имеют значительное распространение главным образом к востоку от месторождения. Они сложены красноватыми или коричневыми неслоистыми туфами, перемежающимися с галечниковыми конгломератами и песчаниками, и имеют общую мощность около 300 м. В конгломератах встречаются гальки гранитов.

Наиболее древними интрузивными породами, прорывающими породы группы Эхо, являются диориты и гранодиориты. Они слагают штокообразные тела, обнажающиеся в 3 км к северо-востоку от месторождения, и вытянуты в северо-западном направлении. Вокруг массивов наблюдаются широкие контактовые ореолы метаморфизованных пород, сложенных полевыми шпатами, биотитом, актинолитом, эпидотом, хлоритом, магнетитом и пиритом, и рассматриваемых как скарны или роговики. В некоторых частях массива наблюдаются зоны лимонитизации в связи с окислением пирита.

Более поздние граниты также прорывают породы группы Эхо и, как описывают Кидд и Хейкок, секут и диориты. По мнению Фурнивола, они имеют различный возраст. Граниты слагают крупные массивы, размером к востоку от месторождения, у бухты Линдслей, 96 км² и к югу от него, на мысе Доуделл, а также к северу, 123 км². Граниты среднезернистые, порфировидные. Они вскрыты и горными выработками. С гранитами связаны редко встречающиеся в районе пегматиты и более широко распространенные аплиты. На площади месторождения имеются

также дайки темноцветных пород. Более ранние по отношению к кварцевым в том числе ураноносным жилам дайки, представленные диоритами и андезитами¹, встречаются в северной части района. Их соотношения с другими породами неизвестны. Судя

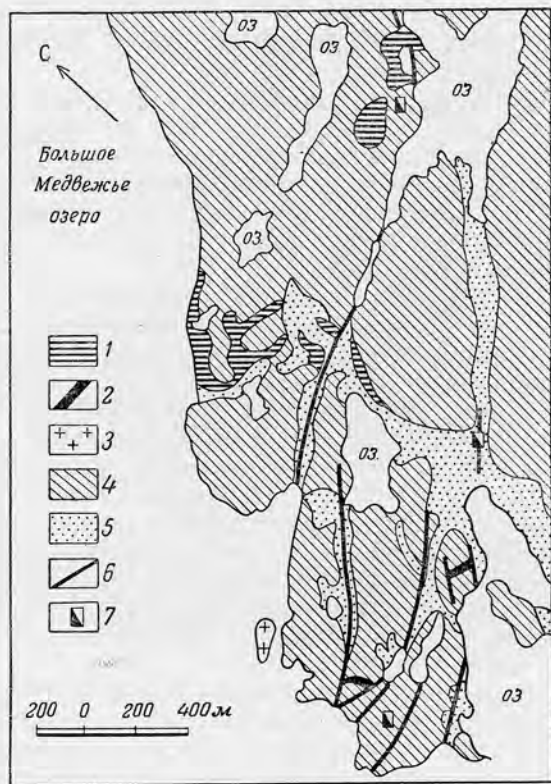


Рис. 22. Геологическая карта месторождения Эльдорадо (по А. Лангу)

1 — кварцевые диабазы; 2 — дайки диабазы; 3 — граниты; 4 — породы группы Эхо; 5 — дельювий; 6 — сбросы и рудные жилы; 7 — горные выработки

по геологической карте, простираение их преимущественно широтное. Более поздние дайки, представленные главным образом диабазами, секут граниты и кварцевые жилы. Они имеют различное залегание и иногда дают переходы в пологопадающие пластовые тела мощностью от 15 до 30 м.

В западной части месторождения выделяется синклинальный перегиб, в восточной — пологая антиклиналь. Породы месторо-

¹ По-видимому, это порфириды.

ждения разбиты многочисленными разрывами. Первая система нарушений, имеющих северо-западное простирание, более ранняя; разлом этого направления протягивается в юго-восточном рукаве бухты Эхо. Вторая система нарушений, более многочисленных, имеет северо-восточное простирание со смещением северо-западного крыла нарушений на северо-восток. В бухте Камерон выделяется крупный сброс северо-восточного простирания с амплитудой смещения в несколько километров. Другой большой сброс этого же направления протягивается через бухту Гласье.

Третья система разрывных нарушений имеет меридиональное направление и представлена трещинами разрыва. Она наблюдается в северной части района, причем по одному из нарушений западный блок смещен в северном направлении.

Все описанные нарушения имеют характер сбросо-сдвигов. Кроме них, отмечаются нарушения меньших порядков; некоторые имеют характер оперяющих трещин юго-восточного простирания.

Урановое оруденение приурочено к зонам дробления, связанным со сбросо-сдвигами, имеющими простирание СВ 65° с падением на северо-запад под углами $60-90^\circ$, косо ориентированными в направлении осей складок.

Зоны обычно прожилковые или штокверковые, выполнены кварцем и рудными минералами, местами кальцитом. Нередко они сопровождаются брекчированием, причем в жилах наблюдаются обломки боковых пород, в той или иной степени измененных. Кварц, являющийся главным жильным минералом, часто сопровождается включениями гематита. Рудные минералы представлены арсенидами никеля и кобальта, самородным серебром, аргентитом, а также сульфидами — халькопиритом и пиритом. В небольших количествах в рудах присутствуют магнетит, арсенипирит, молибденит, никелин, борнит, халькозин, галенит, сфалерит, ковеллин, иногда барит, хлорит. Урановое оруденение представлено урановой смолкой в виде почковидных, ячеистых, дендритовых, сферолитовых, брекчиевидных и прожилковых образований. Урановая смолка образует линзообразные скопления различной длины, разобщенные обычно небольшими интервалами. Эти скопления часто приурочиваются к лежащему боку зоны, но иногда наблюдаются по всей мощности зоны и распространяются на большое протяжение.

До последнего времени на месторождении разрабатывалось четыре рудных зоны мощностью до 12 м и протяжением до 1500 м, расположенные в 180 м друг от друга. Глубина отработки отдельных зон достигает 600 м.

В последние годы на месторождении выявлены еще две крупные промышленные зоны. Известно также несколько более мелких зон. Урановая смолка распространяется в них на значительные глубины, при этом с глубиной колломорфные почковид-

ные скопления становятся менее крупными и обильными. Серебряная минерализация обычно наблюдается лишь в верхних частях жил.

Рудные зоны сопровождаются интенсивным изменением вмещающих пород. Они представлены окварцованными, хлоритизированными и гематитизированными породами. Интенсивность изменения пород уменьшается по мере удаления от месторождения. Гематитизация выражается в покраснении пород, цвет которых при этом резко отличается от первоначального красного или коричневого.

На пространственное распространение скоплений урановой смолки оказывает влияние литологический состав пород, что выражается в приуроченности оруденения к вмещающим осадочным породам и к ранним диабазам. В порфирах урановое оруденение не встречается, но, по мнению Д. Кемпвелла, руды концентрируются вокруг их выступов.

Изучая геологию месторождения и вещественный состав руд, некоторые исследователи пришли к заключению, что оно не связано с гранитами или с какими-либо другими известными интрузивными породами. Такой вывод основан на том, что рудооктролирующие сбросы разбивают и смешивают более молодые, чем граниты интрузивные тела, в частности, аплитовую жилу. Подтверждение этого они видят также в том, что ураново-серебряная минерализация по времени отличается от пирито-магнетитовой и связана будто бы с иным источником. Следует, однако, отметить, что приводимые доводы отнюдь нельзя считать убедительными. Во-первых, рудоносные нарушения и жильные трещины являются более поздними, чем интрузивы, с которыми ассоциирует оруденение, и к тому же они часто подновляются позднейшими движениями. Во-вторых, в качестве источников растворов обычно рассматриваются корневые части интрузивов, при этом оруденение обычно является послемагматическим, формирующимся позднее дериватов интрузии. В-третьих, данные об определении абсолютного возраста урановой смолки разных месторождений и предположения о различных источниках отдельных стадий минерализации пока условны. Следует также указать, что детальное изучение месторождения Киддом и Хейкоком не свидетельствует об отсутствии связи месторождения с магматизмом. Наоборот, из их работы можно сделать заключение, что магматогенное происхождение месторождения для них сомнений не вызывает. Они ясно пишут: «... из характера рудных образований определенно видно, что источником растворов была магма, дифференциаты которой обнажены на этой площади...», т. е. на площади месторождения. Вместе с тем указанные исследователи отмечают, что жилы не связаны с гранитами, обнаженными в настоящее время, и что их «... приуроченность к крупным сбросам указывает на вероятность глубокого расположения источников растворов...».

По мнению Кидда и Хейкока, в этапе гидротермальной минерализации, следовавшем за контактово-метасоматическим, с которым связано образование магнетита, пирита и арсенопирита, выделяются следующие четыре стадии (рис. 23):

1. Кварц, урановая смолка, сафлорит-раммельсбергит с небольшим количеством полидимита, герсдорфита, глаукодота и молибденита.

Минералы	Контактово-метасоматическая стадия	Гидротермальные стадии				Супергенная стадия
		I	II	III	IV	
Магнетит	●					
Пирит	●					
Арсенопирит	●					
Урановая смолка	●	●	●			
Ибери		●	●			
Сафлорит-раммельсбергит		●	●			
Шмальтин-хлоантит		●	●			
Никель-скуттерудит			●			
Кобальтин			●			
Пеллинеит		←?				
Полидимит		←?				
Герсдорфит		←?				
Глауколот			●			
Ваннадит			●			
Молибденит		—?	●			
Самор. висмут			●			
Витерит			●			
Неизвестн. IV1			●			
Неизвестн. IV3			●			
Доломит				●		
Борнит				●		
Сфалерит				●		
Галенит				●		
Тетраэдрит				●		
Фрейберит				●		
Борнит				●		
Халькопирит				●		
Неизвестн. IV2				●		
Халькозин				●		
Мирр. карбонат					●	
Строймерит					●	
Ялпаит					●	
Аргентит					●	●
Гессит					●	●
Самор. серебра					●	●
Кобеллин					●	●
Продукты окисл.					●	●

Рис. 23. Схема последовательности минералообразования месторождения Эль-дorado (по Кидду и Хейкоку)
I—IV — стадии минерализации

2. Кварц, шмальтин-хлоантит, скуттерудит, кобальтин, гематит, самородный висмут, витерит (?).
3. Доломит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, борнит, халькопирит, халькозин.
4. Родохрозит, строймерит, ялпаит, аргентит, гессит (?), самородное серебро.

По мнению указанных выше исследователей, минералы первой стадии отлагались в основном из коллоидных растворов, богатых кремнеземом. Насыщение их железом, никелем, кобальтом и мышьяком вызвало осаждение небольших количеств соединений этих металлов. В период второй стадии состав растворов изменился. В начале этой стадии, когда растворы были еще богаты кремнеземом, отлагались арсениды никеля и кобальта,

а затем — кобальта и отчасти никеля. Отложение минералов третьей и четвертой стадий происходило из низкотемпературных растворов.

Месторождение Эльдорадо представляет собой крупный промышленный объект в описываемом районе, давший уже значительное количество урана, особенно в послевоенные годы. Это месторождение является наиболее типичным среди других месторождений пятиэлементной формации. От подобных месторождений Рудных гор оно несколько отличается присутствием в рудах сульфидов, в частности сульфидов меди.

Месторождение Контакт. Это месторождение расположено в 15 км к юго-востоку от Эльдорадо. Вмещающими породами являются гранодиориты северо-западного штока, которые внедрились в породы группы Эхо, представленные порфиритами, полевошпатовыми порфирами и аргиллитами, залегающими моноклинально и падающими на северо-восток. Гранодиориты в свою очередь прорваны силлами гранитов и дайками поздних диабазов широтного простирания.

Урановое оруденение локализуется в двух жилах, имеющих простирание СВ 75° и падение на юго-запад под углами $75-80^\circ$. Жилы косо ориентированы по отношению удлинения штока гранодиоритов и даек диабазов. От основных жил, имеющих мощность от 0,75 до 1,2 м, отходит ряд рудных апофиз, приуроченных к оперяющим трещинам; протяженность основных жил составляет 600—900 м. Совместно с урановой смолкой в рудных жилах содержится гематит, магнетит, пирит, арсенопирит, борнит, халькопирит, тетраэдрит, кобальтин, сафлорит, глауконит, никелин, герсдорфит, раммельсбергит, сфалерит, галенит, самородный висмут, самородное серебро и жильные минералы — доломит, кальцит, барит.

Урановая смолка образует тонкие прожилки, сферолиты и скопления неправильной формы. В трещинах сферолитов часто присутствуют минералы кобальта и никеля, сульфиды железа, меди и свинца, самородные элементы — висмут и серебро. Наиболее богатые скопления смолки отмечаются в местах пологого залегания и резких изгибов рудоносных жил.

Несмотря на наличие пространственной связи оруденения с интрузивными породами, вопрос об источниках оруденения не решен. Возраст оруденения — протерозойский. Важно отметить, что возраст урановой смолки данного месторождения 650 млн. лет, а смолки соседнего с ним Эльдорадо — 1400 млн. лет.

Из более мелких месторождений района можно отметить некоторые рудопроявления в районе оз. Хотга и Мэриен, связанные с жилами вдоль контактов даек габбро, секущих гранитоиды, а также рудопроявления района Большого Невольничьего озера, локализованные в жилах, расположенных вдоль контактов диабазовых даек.

Смолково-карбонатная и смолково-кварц-карбонатная формации

Месторождения смолково-карбонатной и смолково-кварц-карбонатной формаций также являются типичными представителями гидротермальных месторождений урана. Они имеют гораздо большее промышленное значение, чем месторождения пятиэлементной формации. Как уже отмечалось, месторождения рассматриваемой формации связаны промежуточными образованиями с пятиэлементной и смолково-сульфидной формациями, с одной стороны, и со смолково-флюоритовой формацией, — с другой; такие переходы обычно представлены различными промежуточными типами месторождений. В ряде случаев рудные образования указанных формаций локализуются вместе, слагая рудные поля сложного строения, формирование которых было связано с развитием единого прерывистого рудного процесса. Иногда наблюдаются изменения состава руд в пределах даже одного и того же рудного тела, характеризующие собой образования различных формаций. В большинстве же случаев месторождения данной формации обособлены во времени и в пространстве. В некоторых рудных районах формированию их предшествует образование жил смолково-сульфидной или пятиэлементной формации.

Руды рассматриваемой формации характеризуются наличием лишь карбоната и урановой смолки. В некоторых месторождениях в значительных количествах развивается кварц, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит и блеклые руды. Гематит в рудах месторождений данной формации обычно также не имеет большого распространения, если не считать часто наблюдающихся явлений гематитизации во вмещающих породах. Иногда в рудах смолково-кварц-карбонатной формации наблюдается темный флюорит. Арсениды никеля и кобальта, а также минералы висмута и серебра, как правило, совершенно отсутствуют.

Месторождения формации, представленные жилами и прожилково-вкрапленными зонами, с резко выделяющимися контрастными рудами, часто являются источником получения весьма богатых руд с содержанием урана в несколько процентов и имеют большое промышленное значение.

Месторождения данной формации встречаются в областях докембрийской, герцинской и раннеальпийской складчатостей. Они ассоциируют с гранитными интрузивами или с их поздними кислыми дифференциатами, и располагаются сравнительно недалеко от этих образований в экзоконтактной зоне, а в более редких случаях находятся в пределах самих массивов. Иногда при удалении от массива жилы рассматриваемой формации сменяются другими, более низкотемпературными, отражая тем самым элементы горизонтальной гипогенной зональности. В других случаях рассматриваемые месторождения, располагающиеся

среди вулканогенных толщ, связаны с поздними послетектоническими кислыми интрузивами. Еще более отчетлива связь этих месторождений с крупными контролирующими разломами и сопровождающими их разрывными нарушениями меньших порядков.

Структуры месторождений многообразны и имеют очень важное значение для локализации промышленного оруденения. В одних случаях структуры представлены системой многочисленных параллельных трещин, ориентированных в поперечном к складчатости направлении. В других рудные жилы приурочены к системе трещин, сопряженных с крупными региональными разломами. Большое значение часто имеют системы оперяющих трещин, развивающиеся лишь по одной стороне крупного разлома. Известны месторождения, относящиеся к данной формации, где рудные тела располагаются в зоне дробления в контакте гранитов с вмещающей их осадочно-метаморфической толщей.

В локализации руд и в их размещении в пределах рудных тел большое значение имеет литологический состав вмещающих пород в сочетании с геологической структурой. Известны примеры образования рудных столбов в месте пересечения жильными трещинами даек диабаз. Изменение вмещающих пород нередко весьма интенсивно и носит в целом характер, который был отмечен для группы средне- и низкотемпературных месторождений.

Размеры рудных жил и прожилковых зон и их распространение на глубину в общем мало отличаются от рудных образований двух предыдущих формаций.

К смолково-карбонатной и смолково-кварц-карбонатной формациям относится большая и важная в промышленном отношении группа урановых месторождений. Приведем описание наиболее интересных и представительных из них.

Месторождения района озера Биверлодж. Рассматриваемый район расположен в западной части Канадского щита и сложен породами докембрия (рис. 24). Наиболее древними, по Р. Аллену, являются архейские породы группы Тейзин, представленные конгломератами, кварцитами, доломитами, кристаллическими сланцами, гнейсами, амфиболитами и др. Они прорваны интрузивами, сложенными гранитами, гранодиоритами, аляскитами, кварцевыми сиенитами. Эта толща смята в складки северо-восточного простирания с крутыми (до 90°) падениями крыльев.

В глубоких синклинальных прогибах обнажаются протерозойские породы серии Атабаска, представленные конгломератами, базальтами, кварцитами и порфиритами, залегающими несогласно, местами горизонтально на породах Тейзин. Участками они смяты в складки северо-восточного простирания с падением крыльев от 35 до 65°. Породы серии Атабаска пересекаются дайками диабазов. Ф. Д. Алькок и Д. Гендерсен между породами группы Тейзин и серии Атабаска выделяют толщу конгломера-

тов и кварцитов, в том числе железистых кварцитов серии Биверлодж, прорванную более молодыми верхнепротерозойскими гранитоидными интрузивами. Кроме того, выделяется догранитный комплекс габбро, норитов и перидотитов, внедрившихся по сланцеватости пород группы Тейзин, и серии пород Биверлодж.

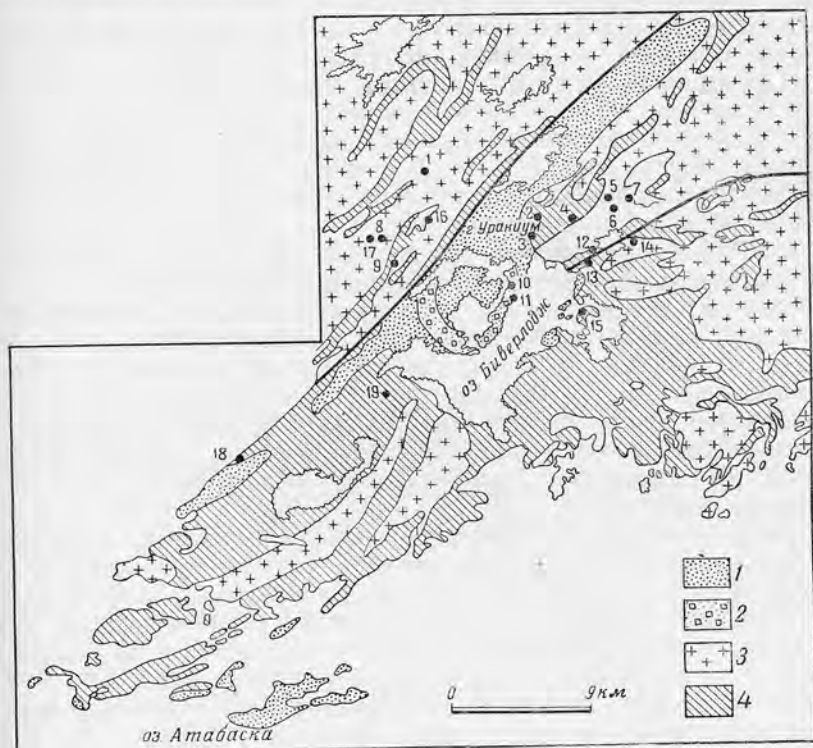


Рис. 24. Схематическая геологическая карта ураноносного района озер Биверлодж—Атабаска (по Аллену)

1 — базальты; 2 — конгломераты, аркозы; 3 — граниты; 4 — измененные осалочные и изверженные породы, местами гранитизированные
 Цифрами обозначены эксплуатирующиеся месторождения: 1 — Чам, 2 — Игл, 3 — Эбиси, 4 — Игл-Эйс, 5 — Бер, 6 — Сграйк, 7 — Пег, 8 — Смитти, 9 — Леонард, 10 — Мартин Лейк, 11 — Пем, 12 — Эйс, 13 — Фей, 14 — Вернашафт, 15 — Тор, 16 — Цезарь Атабаска, 17 — Голдфилдс, 18 — Галч, 19 — Лорадо.

Район месторождений разбит системой крупных сбросо-сдвигов, параллельных осям складок. Наиболее протяженными из них являются разлом Блек Бей, прослеженный на 64 км, и Сент-Луи, протягивающийся на 10 км. Их горизонтальные амплитуды составляют около 300 м.

Урановое оруденение контролируется разломом Сент-Луи. Подвижки по этому разлому имели взбросовый характер, о чем можно судить по развитию системы разрывных трещин оперения

в лежащем боку разлома (месторождение Эйс-Фэй) и двух систем сколовых трещин оперения в висячем боку (месторождения оз. Мартин).

Месторождения относятся к смолково-карбонатной формации. Смолка представлена двумя генерациями — ранней, имеющей колломорфную структуру, и поздней — массивной. Кроме урановой смолки, в рудах содержится небольшое количество арсенидов кобальта и никеля, гематита и сульфидов — пирита, халькопирита и галенита, а также селенид свинца — клаустолит ($PbSe$) и селенид меди — умангит (Cu_3Se_2); реже встречается самородное золото; жильными минералами являются карбонаты, меньше развит кварц. В боковых породах развиты процессы гематитизации, сопровождавшиеся фельдшпатизацией, силицификацией и хлоритизацией.

С. Робинсон выделяет следующие стадии минерализации: а) гематитизация и фельдшпатизация пород вдоль трещин; б) отложение в брекчированных породах кальцита и колломорфной урановой смолки; в) отложение в брекчированных участках кальцита, кварца, урановой смолки второй генерации, арсенидов и сульфидов; г) отложение кальцита и селенидов.

Важным рудоконтролирующим фактором является состав боковых пород, наиболее благоприятных для локализации оруденения, представленных амфиболитами, порфиритами и карбонатными породами.

Месторождения расположены вблизи гранитов, имеющих в районе широкое распространение. Однако вопрос об источниках оруденения пока остается неясным. Сложность вопроса заключается в том, что оруденение встречается и в более поздних, чем граниты, отложениях серии Атабаска. Не исключена возможность переотложения руд при метаморфизме пород серии Атабаска. Об этом до некоторой степени свидетельствует факт установления разного возраста оруденения: 850—950 млн. лет для колломорфной урановой смолки и 230—350 млн. лет для поздней массивной сложения смолки (С. Робинсон, П. Ф. Керр). Из большой группы месторождений района оз. Биверлодж наиболее крупным и типичным является месторождение Эйс-Фей.

Месторождение Эйс-Фей. Это месторождение расположено на северном берегу оз. Биверлодж, в 12 км к северу от с. Голдфилдс в Канаде. Детально оно разведано в 1948—1951 гг., после чего начало эксплуатироваться в широких масштабах. В настоящее время месторождение является крупным объектом получения богатых руд урана.

В геологическом отношении район месторождения характеризуется наличием крупного разлома Сент-Луи (рис. 25), в лежащем боку которого распространены хлорито-эпидотовые и хлорито-серцитовые сланцы, аргиллиты и кварциты группы Тейзин, а в висячем боку — парагнейсы. Местами на них несогласно залегают аркозы и конгломераты серии Атабаска. Простирающиеся раз-

лома Сент-Луи, подобно породам группы Тейзин, СВ 64°, падение к юго-востоку под углом 50°. Разлом сопровождается смятием и брекчированием шириной 15—18 м и глиной трения мощностью до 75 см. Породы серии Атабаска залегают согласно с разломом.

Оруденение тяготеет к разлому и наиболее интенсивно развивается при пересечении им аргиллитов. В кварцитах оруде-

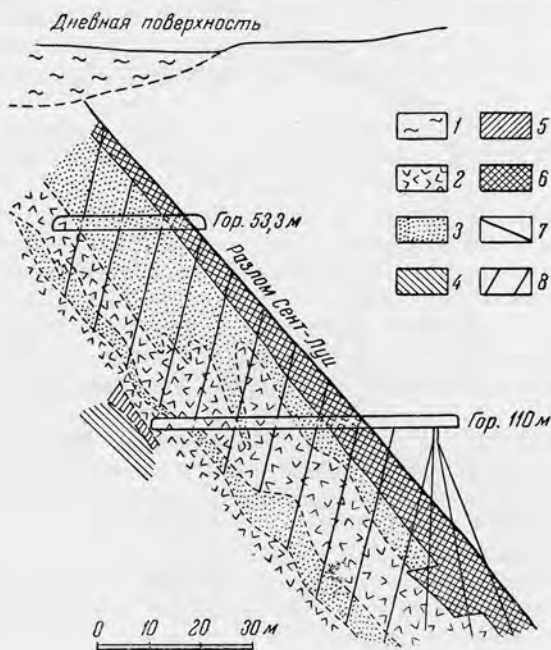


Рис. 25. Разрез через месторождение Эйс-Фей (по А. Лангу)

1 — наносы (четвертичные образования); 2 — парагнейсы;
3 — гематитизированные породы; 4 — породы группы Тейзин;
5 — хлорито-эпидотовые породы; 6 — рудная зона; 7 — сброс;
8 — буровые скважины

нение непромышленное или совсем отсутствует. В пределах описанного разлома выделяются два рудных участка — Эйс и Фей, — разрабатываемые отдельными шахтами, расположенными в 1200 м друг от друга.

На участке Эйс в лежачем боку разлома выделяются две рудные зоны. Главной является западная. Она представляет собой серию параллельных или почти параллельных жил, сложенных урановой смолкой и карбонатами. Вкрапленность урановой смолки встречается также и в околожилльных породах. Серия жил и вкрапленность смолки рассматриваются как единая рудная зона, достигающая 10 м и более мощности и длины в не-

сколько сотен метров. Вмещающие рудную зону аргиллиты сильно изменены и превращены в породы, состоящие из полевого шпата, гематита и карбоната.

На участке Фей промышленное оруденение встречено не только в лежачем, но и в висячем боку разлома и сосредоточено в двух рудных телах; одно из них прослежено на 540 м. Руды представлены главным образом урановой смолкой, кальцитом и кварцем. Присутствуют также гематит и в небольшом количестве пирит, галенит, халькопирит, реже клаусталит. Незначительное участие сульфидов в составе рудных тел позволяет отнести данный участок к смолково-кварц-карбонатной формации.

Действующая на руднике обогатительная фабрика в последние годы расширена до производительности 2 тыс. т руды в сутки.

В последние годы в результате интенсивных поисков на территории Франции выявлен ряд месторождений урана, преимущественно смолково-кварц-карбонатной формации, имеющих важное промышленное значение. Это позволило Франции занять одно из первых мест в Европе по запасам урана в недрах. Наиболее крупные и типичные в геологическом отношении месторождения Франции сосредоточены в районах Северный Лимузен и Буа-Нуар.

Месторождения района Северный Лимузен. Эти крупные промышленные месторождения находятся в северо-западной части Центрального Французского массива, сложенного докембрийскими и палеозойскими породами, прорванными герцинскими гранитами Верхней Виенны (рис. 26).

Месторождения расположены к северу от г. Лимож и приурочены к сложному гранитному массиву Амбазак, выступающему среди сланцев и гнейсов.

Массив сложен биотитовыми, двуслюдяными, порфиroidными гранитами и более поздними мелкозернистыми гранитами, залегающими в виде мелких тел. В северо-восточной части района Сев. Лимузен проходит крупный разлом Аржанта северо-западного простирания, сопровождающийся брекчированием пород. Массив гранитов пересекается многочисленными дайками микрогранитов и лампрофиров и пегматитовыми жилами. Дайки, имеющие преимущественно северо-северо-восточное простирание с падением на запад под углами от 50 до 75°, сыграли очень важную роль в формировании месторождений. Отмечается тесная связь уранового оруденения с проявлениями калиевого метасоматоза или так называемой сиенитизацией.

Урановое оруденение района Сев. Лимузен располагается в полосе меридионального направления протяженностью в несколько километров и представлено месторождениями: Марнак, Брюжо, Генриетта, Сань-Фанэ, Буа-Нуар и др., контролируемые разломами и зонами смятия. Оруденение обычно приуро-

чено к системам оперяющих нарушений. Все месторождения залегают в гранитах, для некоторых из них устанавливается струк-

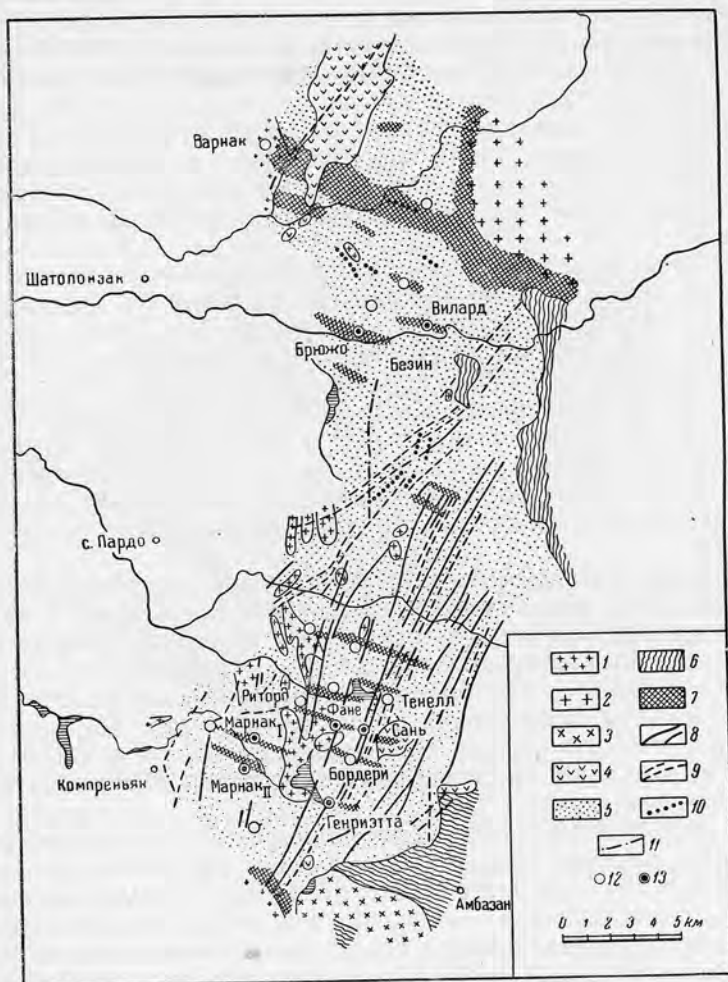


Рис. 26. Схематическая геологическая карта района Сев. Лимузен, Франция (по Ж. Сарсна)

1 — граниты; 2 — граниты крупнозернистые; 3 — граниты порфировидные; 4 — гранулиты; 5 — гранулиты двуслоистые; 6 — гнейсы; 7 — милониты и дислоцированные зоны; 8 — минералы; 9 — жилы микрогранитов; 10 — кварцевые жилы; 11 — пегматитовые жилы; 12 — рудопроявления; 13 — месторождения

турная связь с дайками. Месторождения представлены жилами, часто ветвящимися, приуроченными к разрывным нарушениям северо-западного простирания. Охарактеризуем наиболее крупные месторождения.

Месторождение Марнак. Месторождение приурочено к крупному разлому, протягивающемуся более чем на 12 км в области развития двуслюдяных средне- и крупнозернистых гранитов, пересеченных многочисленными пегматитовыми жилами.

В гранитах отмечается проявление калиевого метасоматоза, с которым тесно связаны рудные тела. Последние приурочены к оперяющимся трещинам северо-западного простирания с крутым падением на северо-восток. Жилы часто представлены линзообразными телами; длина жил колеблется от десятков до 350 м, мощность — от 0,8 до 2 м. Общая длина рудоносной полосы, разбитой жильными трещинами, составляет около 1,5 км при ширине 400 м.

Отличительной особенностью месторождения является очень высокое качество руд. Среднее содержание урана в линзообразных телах составляет 6—11%, в жилах — 0,2—0,3%. Нередко рудные тела сложены почти сплошной урановой смолкой, цементирующей раздробленные и измененные породы. Жильный минерал у зальбанд представлен кальцитом, окрашенным, в связи с наблюдающейся гематитизацией, в красный цвет; иногда в жилах имеется флюорит. Сульфиды развиты слабо и представлены пиритом или марказитом и очень редко — галенитом. Иногда наблюдается псиломелан, выполняющий отдельные тонкие прожилки.

Месторождение Брюжо. Месторождение характеризуется более сложным геологическим строением и структурой. Оно сложено массивом двуслюдяных гранитов, вмещающих блоки в разной степени гранитизированных сланцев, среди которых выделяются участки пегматоидных гранитов. Массив вытнут в меридиональном направлении вдоль крупного разлома, имеющего падение к северо-востоку под углами 68—55° (рис. 27). К нему, а также к другим системам связанных с ним нарушений и приурочено оруденение.

Отличительной особенностью месторождения является развитие двух морфологических типов рудных тел: жильного и штокверкового. Наблюдаются рудные тела как выходящие на поверхность, так и «слепые» — не выходящие на поверхность. Среднее содержание урана в жилах составляет десятые доли процента, в штокверках — 0,1—0,13%. Размеры штокверков изменяются по площади от нескольких сотен до тысяч квадратных метров. Урановая минерализация к периферии штокверков быстро убывает.

Состав руд весьма близок к тому, который отмечался для месторождения Марнак. В отличие от него, здесь, кроме кальцита, спорадически отмечается кварц. Кальцит, подобно кальциту месторождения Марнак, тонко импрегнирован гематитом. Сульфиды редки.

Месторождение Генриетта. Район месторождения Генриетта, по описанию Ж. Сарсиа, сложен преимущественно двуслюдяными гранитами и отчасти гнейсами, прорванными порфиroid-

ными гранитами, выступающими на поверхность в виде массива. Интрузив сопровождается многочисленными пегматитовыми жилами, дайками микрогранитов и кварцевыми жилами с золото-вольфрамито-арсенопиритовым оруденением. Здесь выделяются следующие системы нарушений и трещин: 1) система северо-западного простирания, к которой приурочены лампрофиры и от-

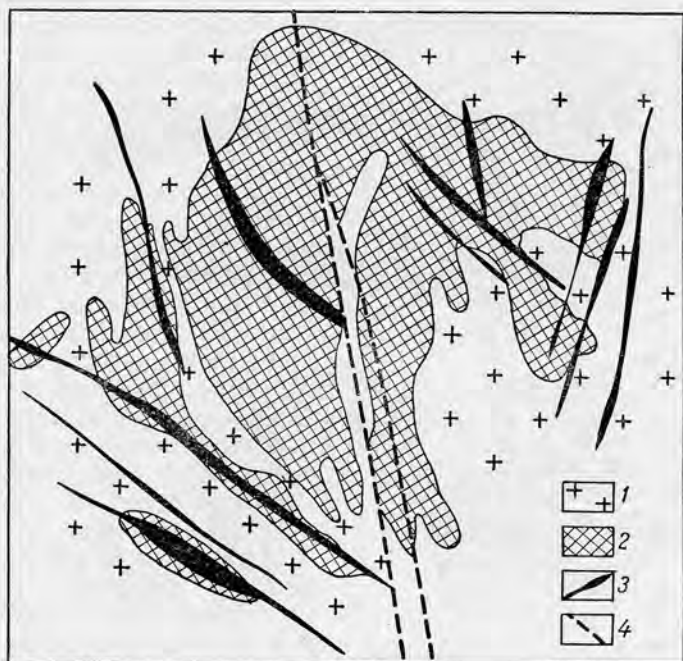


Рис. 27. Месторождение Брюжо. Рудные тела на горизонте 65 (по Ж. Сарсиа)

1 — граниты; 2 — рудные штокверки с урановой чернью; 3 — жилы с урановой смолкой; 4 — разломы

части мелкие ураноносные жилы; 2) система преимущественно северо-западного простирания, с которой связаны ураноносные тела, располагающиеся в контакте с лампрофирами, и 3) система меридиональных нарушений, в которых оруденения не наблюдается.

Возле лампрофировых даек мощность жил резко увеличивается, они становятся богатыми ураном и быстро выклиниваются по мере удаления от лампрофировых даек.

Таким образом, месторождение по существу представлено плоскими столбообразными телами, имеющими небольшие размеры по простиранию и мощности и значительное протяжение по падению. Рудные жилы ориентированы почти в поперечном на-

правлении по отношению к лампрофировым дайкам и секут последние, являясь более поздними. Ураноносные тела представлены жилами и линзами различных, но в общем небольших размеров с четко выраженными в них рудными столбами.

Месторождение представлено двумя главными, близко расположенными телами — Генриетта и Коллон Кантиан, и рядом

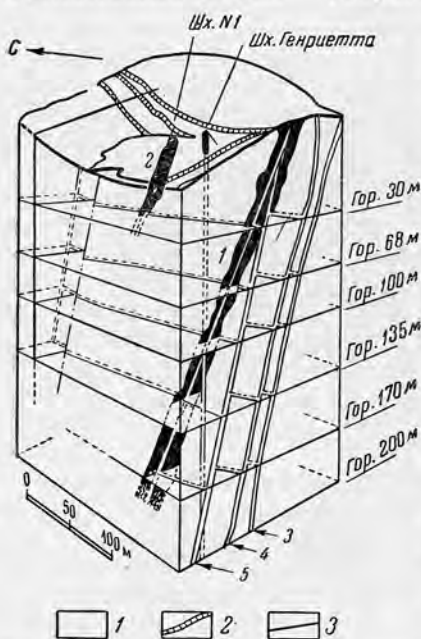


Рис. 28. Рудные тела на пересечении жильных трещин с дайкой лампрофира. Рудник Генриетта (по М. Рубо) 1 — вмещающие породы; 2 — минерты; 3 — сброс.

Цифрами на рисунке показаны: 1 — рудный столб Генриетта; 2 — рудный столб Кантиан; 3—5 — минерты

мелких линз и прожилков, приуроченных к контакту лампрофиров. Мощность главных тел составляет несколько сантиметров, протяжение их по простиранию 5 и 10 м, по падению 55 и 255 м. Рудное тело Генриетта локализовано в месте пересечения жильной трещины трех даек, имеющих северо-восточное простирание с падением на юго-восток под углом около 70° (рис. 28). Рудное тело Коллон Кантиан, по данным М. Рубо, залегает у сброса Салиньер в гранитах, в верхней части тела — почти вертикально, в виде сабельного клинка, ниже — в контакте с дайкой минерты.

Рудные жилы сложены в основном урановой смолкой. Сульфиды имеют небольшое распространение. Они представлены марказитом, мельниковитом, пиритом, леллингитом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, борнитом, висмутином. В качестве жильных минералов присутствует кварц,

по другим данным, отмечается также барит.

Урановая смолка часто образует сферолитовые и почковидные скопления размером до нескольких сантиметров и нередко ассоциирует с сульфидами.

Иногда рудные образования сопровождаются брекчированием. В таких участках в рудах наблюдаются мелкие включения боковых пород, кварца, полевого шпата и слюды. Местами можно видеть нарастание на урановую смолку более поздних минералов — мельниковита, марказита, иногда барита.

Рудные жилы имеют симметрично-полосчатое строение; при этом в зальбандах располагается колломорфная урановая смолка, затем следуют сульфиды с урановой смолкой и в средней части

жил — барит с сульфидами (рис. 29). На одном участке рудника Генриетта была обнаружена жилка кварца с вольфрамитом, сфалеритом, халькопиритом, борнитом и халькозином, представляющими более ранние образования, чем урановая смолка. В процессе минерализации выделяются три или четыре стадии, сопровождавшиеся внутриминерализационными подвижками и

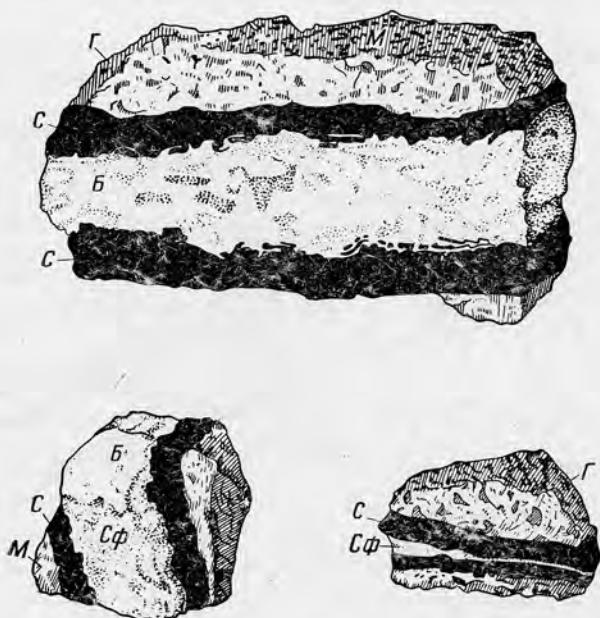


Рис. 29. Текстуры руд месторождения Генриетта.
 $\frac{1}{3}$ нат. вел. (по Л. Жеффрой)

Г — гранит; С — урановая смолка; Сф — сульфиды с урановой смолкой; Б — барит с включениями пирита; М — минералы

дроблением. Текстуры руд, а также присутствие барита показывают, что отложение руд происходило неглубоко от поверхности в открытых трещинах.

Рудоносные зоны сопровождаются изменением вмещающих их гранитов. Широко развита гематитизация, выражающаяся в покраснении пород и, в частности, слагающих их полевых шпатов. В верхней части месторождений наблюдается зона окисления с лимонитом, отенитом и гуммитом.

Месторождение Лякрузиль. Это месторождение, по строению близкое к рассмотренным, характеризуется незначительным оруденением. Однако наличие богатых контрастных руд дало возможность получать здесь очень богатые концентраты с содержанием урана до 25%.

Месторождение Сань-Фанэ. Месторождение расположено в той же группе месторождений Сев. Лимузен, но существенно отличается геологической структурой и характером минерализации. Оно также сложено двуслюдяными крупнозернистыми гранитами и более поздними мелкозернистыми двуслюдяными и мусковитовыми их дифференциатами. Значительно распространены и проявления калиевого метасоматоза.

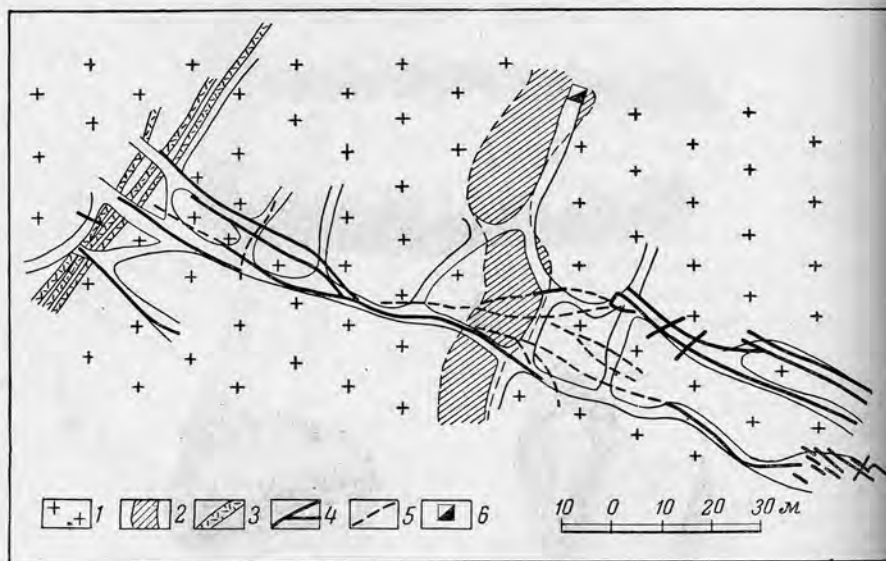


Рис. 30. Рудные жилы месторождения Сань (по М. Рубо)

1 — граниты; 2 — дайки микросиенитов; 3 — дайки минетт; 4 — урановые жилы; 5 — сбросы; 6 — Главная шахта

Месторождение приурочено к крупному разлому северо-западного простирания (рис. 30) с крутым падением на северо-восток; разлом сопровождается милонитизацией, тектоническими брекчиями и глинами. Следует отметить также систему, по-видимому, оперяющих нарушений близмеридионального простирания и систему трещин северо-восточного простирания, выполненных серией даек минетт и микрогранитов, которые пересекаются поперечными к ним рудными жилами.

На месторождении выделяются три типа рудных образований: 1) жилные зоны в виде параллельных мелких жил, выполненных урановыми чернями, мощностью от 0,2 до 4 м; 2) оруденные брекчии, развивающиеся вблизи контактов даек минетт и отчасти микрогранитов, мощность которых достигает 6 м; 3) рудные прожилки в контактах даек указанных пород, богатые ураном и имеющие локальный характер.

В целом структура месторождения представлена жильной зоной, пересекающей серию поперечных даек, вблизи которых наблюдаются обогащенные участки. Руды месторождения содержат значительное количество халцедоновидного кварца и флюорита, что сближает его с образованиями смолково-флюоритовой формации.

Месторождения Буа-Нуар. Месторождения района Буа-Нуар являются наиболее важными промышленными урановыми объектами Франции. Они расположены в районе Овернь (известном также как район Лашо), в горах Форэз и Маллен, в междуречье Алье и Луары, примерно в 20 км к юго-востоку от г. Виши.

Район месторождений сложен порфировидными гранитами герцинского возраста, прорывающими диантанские отложения. Участками встречаются микрограниты, по-видимому, представленные малыми и поздними интрузивами. Породы разбиты крупными разломами северо-западного простирания на три блока. Разломы сопровождаются интенсивной милонитизацией гранитов.

Месторождения приурочены к рудоносной полосе Буа-Нуар (рис. 31), проходящей в восточной окраине гранитного массива, который с запада и востока ограничен сбросами северо-западного направления. Главное значение для локализации оруденения имеет восточный сброс Форэ, к которому тяготеет рудоносная полоса, включающая целый ряд ме-

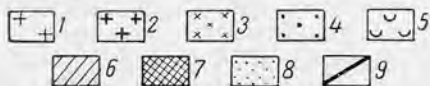
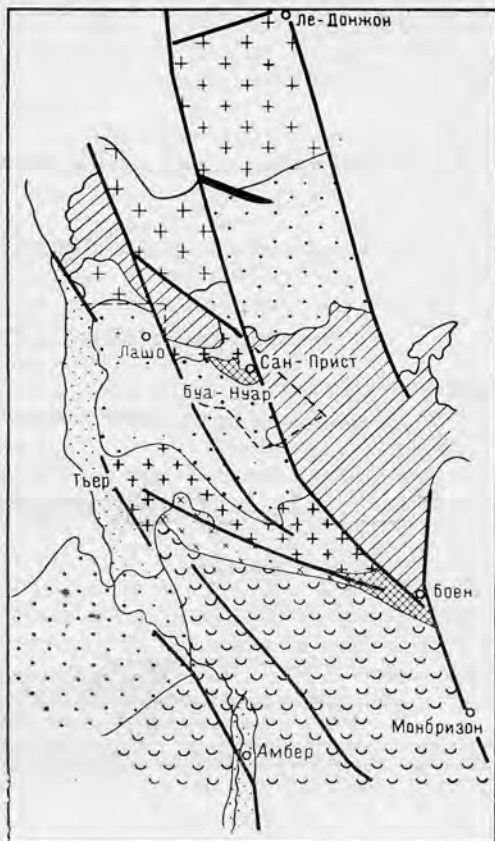


Рис. 31. Схематическая геологическая карта месторождения Буа-Нуар, Франция (по Ж. Сарсиа)

1 — порфировидные граниты второй фазы, 2 — порфировидные граниты первой фазы; 3 — двуслюдяные граниты; 4 — биотитовые граниты; 5 — кристаллический фундамент Форэз; 6 — диантанские отложения; 7 — милониты; 8 — отложения олигоцена; 9 — разломы

сторождений и рудопроявлений: Ле Фрати, Сан Приест, Вадук де Ре, Кадапер и Лимуза.

Месторождение Лимуза. Это месторождение является самым крупным в данной группе и во Франции. Оно приурочено к зоне

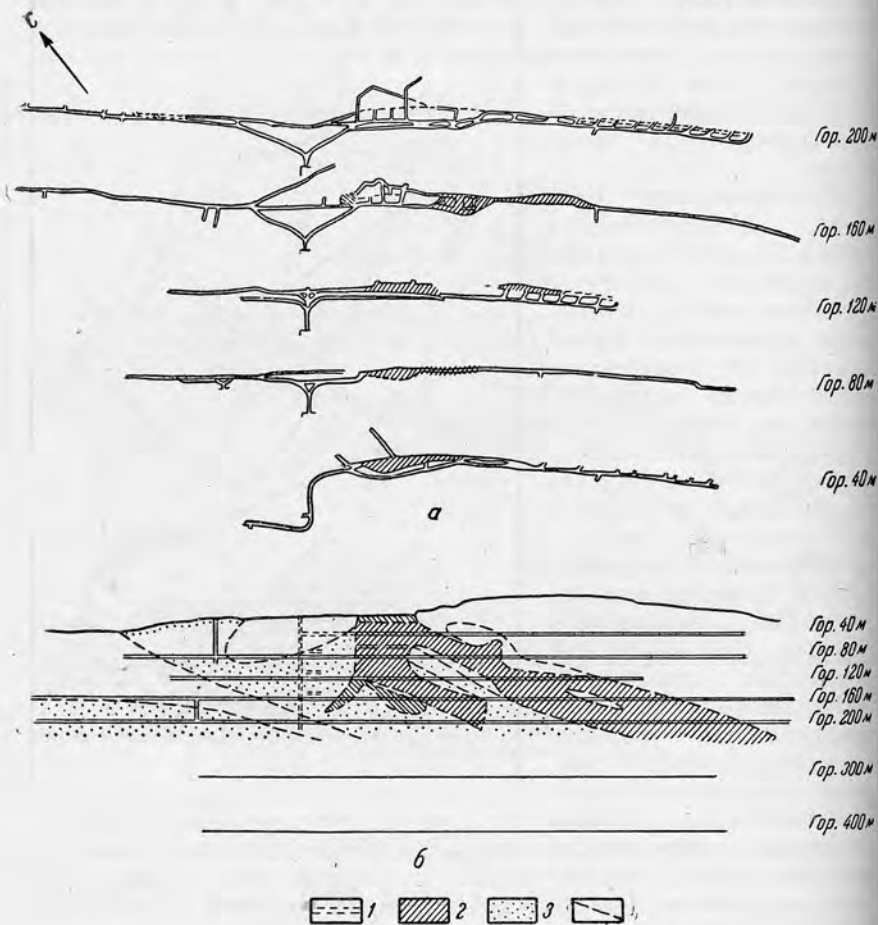


Рис. 32. Погоризонтные планы (а) и продольный разрез (б) месторождения Лимуза Буа-Нуар (по Ж. Сарсиа)

1 — тонкие минерализованные жилы; 2 — рудные тела; 3 — гидротермально измененные породы; 4 — сбросы

интенсивного брекчирования центрального блока, сложенного окварцованными микрогранитами.

Месторождение представляет собой крупное линзообразное тело интенсивно оруденелых брекчий, органиченное двумя разломами, проходящими в висячем и лежащем боках. Рудное тело имеет склонение к юго-востоку (рис. 32). Обломки брекчий со-

стоят из сильно измененных микрогранитов, сцементированных кремнистым материалом, содержащим скопления почкообразных выделений и вкрапленность урановой смолки. В первичных рудах встречаются также галенит, пирит и марказит. Наиболее интенсивно минерализована брекчированная зона всячего блока, а также трещины широтного направления, секущие все рудное тело. Они содержат 2—6% урана.

После брекчирования рудное тело было снова разбито трещинами, выполненными дымчатым кварцем и сульфидами, без урановых минералов. На глубине 400 м оно разбито на три жилы, сменяющие друг друга примерно на протяжении около 1 км; мощность жил 1—2 м, в отдельных раздвух достигает 10 м.

В формировании месторождения выделяют несколько стадий:

1. Образование разлома и зоны брекчирования пород и их окварцевание.

2. Образование прожилков карбоната.

3. Отложение прозрачного кварца и затем урановой смолки и пирита (главная рудная стадия).

4. Отложение мелкокристаллического кварца, гематита и мелких коллоидных образований урановой смолки и пирита.

5. Отложение дымчатого безрудного кварца, пирита и халькопирита.

6. Гипергенные изменения.

Прослеженная длина рудного тела в верхних горизонтах составляет 150 м, мощность — около 25 м. Оно разбурено многочисленными скважинами и в настоящее время разрабатывается. Руды богатые. Среднее содержание урана в добываемой руде превышает 0,5%. Запасы урана в месторождении составляют не менее 6 тыс. т.

На месторождении интенсивно представлена зона окисления, где широко развиты торбернит, отенит и другие фосфаты урана, а также янтинит.

Смолково-флюоритовая формация

Месторождения смолково-флюоритовой формации также имеют существенное промышленное значение и широкое распространение. Нередко они связаны промежуточными типами руд с месторождениями других рудных формаций — пятиэлементной и смолково-кварц-карбонатной.

Месторождения рассматриваемой формации, так же как тесно связанные с ней образования других формаций, представлены преимущественно жильным типом оруденения. Руды состоят главным образом из флюорита, халцедона, смолки и пирита. Иногда отмечаются барит или карбонаты. Из других рудных минералов в небольшом количестве присутствуют галенит, халькопирит, гематит и изредка — молибденит. Флюорит обычно темно-фиолетовый, почти черный. Смолка встречается в виде прожилков или вкрапленности, часто мелко рассеянной во флюорите.

Среди месторождений данной формации можно выделить два типа, несколько различающихся по возрасту и глубине формирования.

Месторождения более древнего, преимущественно варисского возраста, характеризуются средней глубиной формирования. Барит в их составе не встречается или имеет незначительное распространение. К этому типу относятся многие месторождения Франции и месторождение Вельсендорф в ФРГ.

Месторождения более позднего — кайнозойского времени образования часто носят черты резко выраженного близповерхностного происхождения. К этому типу относятся месторождения Мерисвейл в США и другие.

Наиболее характерными месторождениями смолково-флюоритовой формации являются месторождения, формирующиеся, с одной стороны, на средних глубинах, известные в Центральном Французском и Армориканском массивах — Грюри, Исс-л'Эвек, Клиссон и др., с другой стороны, — вблизи поверхности — Мерисвейл (США).

Месторождение Грюри. Это месторождение (рис. 33) расположено в северо-восточной части Центрального массива, вблизи г. Грюри и представлено серией жил и жильных зон, развитых на площади в несколько квадратных километров.

Район месторождения сложен порфирированными гранитами массива Люзи, входящего в состав Центрального Французского массива. Граниты варисского возраста прорывают осадочные отложения стефанского яруса, развитые к западу и северо-востоку от этого массива. К северу от гранитов наблюдаются выходы гранулитов; к юго-востоку и северо-востоку развиты отложения перми и триаса. В контакте интрузивного массива и пермо-триасовых отложений протягивается крупный разлом северо-восточного простирания, с которым, по-видимому, и связаны рудоносные структуры. Граниты пересечены жилами аплитов и дайками микрогранитов и керсантитов, имеющих северо-восточное, реже северо-западное простирание.

Месторождение представлено полосой рудных жил, протягивающейся на 5,5 км в меридиональном направлении к югу от г. Грюри. Главнейшими рудными участками или зонами являются Лафэ, Бозо, Верне, Голин и Бросс.

Участок Лафэ представлен зоной кварцевых жил с флюоритом и урановой смолкой. Простирание жил СЗ 350°, падение крутое на северо-восток. Оруденение данного участка связано с кварцевыми жилами или прожилками, содержащими урановую смолку.

Наиболее значительной является жила Лафэ, сложенная серым или розоватым кварцем с флюоритом. Смолка распределена неравномерно. Из других рудных минералов присутствуют пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, марказит. Мощность жилы колеблется от 0,5 до 1 м; угол падения 40—75°.

Жила Элен протягивается к востоку от первой, параллельно ей и также несет смолковое оруденение.

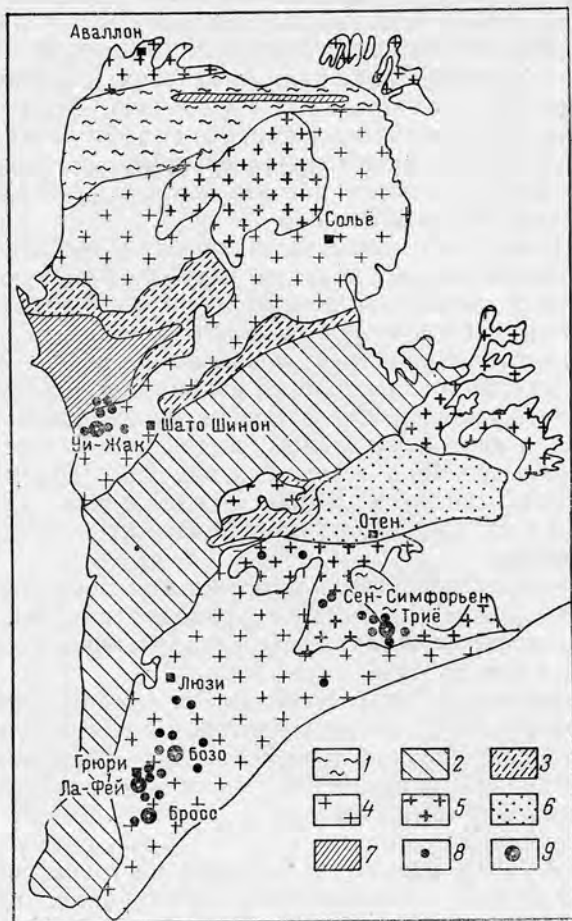


Рис. 33. Схематическая геологическая карта района Грюри (по Л. Жеффрой и Ж. Сарсиа)

1 — анатектиты; 2 — динамские отложения; 3 — микрограниты; 4 — биотитовые граниты; 5 — гранулитовые граниты; 6 — пермо-карбоновые отложения; 7 — риолиты, риолитовые туфы; 8 — главные рудопроявления; 9 — месторождения урана

Жила Ателье-дю-Фон расположена к западу от жилы Лафэ. В зоне окисления встречаются вторичные минералы урана — отенит, торбернит и казолит.

Месторождение Исс-л'Эвек. С зоной Лафэ непосредственно связана рудная зона Босо, расположенная в 2 км к юго-востоку

от г. Исс-л'Эвек. В связи с этим ее называют месторождением Исс-л'Эвек.

Здесь выделяются четыре жилы, в значительной мере или даже почти целиком выполненные флюоритом и урановой смолкой. По данным М. Рубо, до горизонта 100 м прослежена жила Борн-Пило с линзообразным рудным столбом, сложенным флюоритом и смолкой в почковидных выделениях. Мощность жилы 20 см. Жила Борн-Пило имеет падение под углом 80° и на горизонте 100 м сопровождается параллельной и, по-видимому, слепой жилой Альфоне; далее обе эти жилы пересекаются двумя новыми жилами Комб и Вершер.

Жила Борн-Пило сложена флюоритом темно-фиолетового цвета и подчиненным ему кварцем, несущими мелкую вкрапленность урановой смолки; встречаются также пирит, марказит и галенит; из других минералов отмечены кальцит, доломит, мельниковит, гематит. Жила имеет зональное строение. У зальбандов располагается тонкая полоска кварца, затем следует флюорит с урановой смолкой, сменяющийся иногда сплошной урановой смолкой в виде почковидных выделений; далее получают развитие красный кварц и местами обильные доломит и кальцит. Флюорит иногда замещается доломитом. По данным Л. Жеффрой и Ж. Сарсиа, отмечается замещение колломорфной смолки пиритом.

Жила Вершер этого же месторождения почти целиком выполнена флюоритом с массивной урановой смолкой, образующей полосы мощностью 20 см. Нередко флюорит и смолка располагаются в центральной части жил.

Месторождения группы Клиссон. Эти месторождения отличаются от описанных большим масштабом и более бедным вкрапленным и тонкопрожилковым оруденением. Месторождения находятся в Вандее и связаны с крупным Армориканским массивом во Франции, расположенным к северо-западу от Центрального Французского массива.

Группа Клиссон состоит из четырех месторождений, расположенных в полосе близширотного простирания, протягивающейся на протяжении около 4 км, контролирующей разломами этого же простирания, прослеженными вдоль р. Ламуани.

Район месторождений (рис. 34) сложен гранитным массивом Мортань, прорывающим кристаллические сланцы и другие метаморфические породы докембрия, которые распространены преимущественно к югу от массива, а также кембрийские отложения и древние диориты и габбро, выступающие к северо-востоку и к западу от массива. Массив вытянут в северо-западном, близком к широтному направлении.

Месторождения располагаются в северо-западной части массива среди гранитов, вблизи контакта с бриоверьенскими отложениями и кристаллическими сланцами. Наиболее крупным из них является месторождение Экарпьер.

Месторождение Экарпьер. Представлено семью жилами, приуроченными к зонам разломов и дробления того же западно-северо-западного простирания. Общая ширина рудоносной полосы

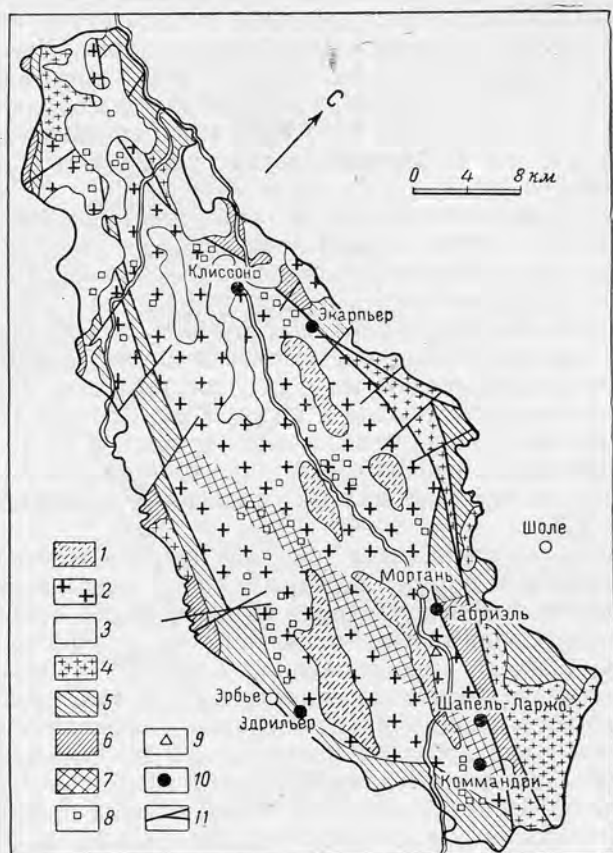


Рис. 34. Схематическая геологическая карта ураноносного района Ванден

1 — отложения миоцена и плиоцена; 2 — гранулитовые граниты; 3 — гранулитовые граниты биотитовые; 4 — мелкозернистые граниты биотитовые; 5 — сланцы бриовьеренские; 6 — амфиболиты; 7 — зоны дробления; 8 — рудопроявления урана; 9 — рудопроявления олова и вольфрама; 10 — месторождения и центры эксплуатации; 11 — разломы

составляет 200 м, длина — около 600 м. Мощность жил различна — от нескольких сантиметров до 1—2 м, и в общем достаточно выдержана по простиранию и падению.

Главными жилами месторождения являются Сенекаль и Руссо. Они, как и другие жилы, залегают в красных гранитах вблизи их контакта с порфиroidными породами и амфиболи-

тами — бриоверьенскими отложениями. В контактовой зоне гранитов, реже внутри массива развиты процессы аргиллизации.

Жилы имеют ленточное строение и выполнены халцедоном, черным флюоритом, урановой смолкой, пиритом, широко распространенным. Халцедон располагается у зальбандов, флюорит и урановая смолка — в центральных частях жилы. Часто смолка присутствует на границе халцедоновой и флюоритовой полос и тесно ассоциирует с пиритом. Урановая смолка образует тонкие прожилки мощностью от 0,1 до 1 мм и вкрапленности с размером зерен 0,02 мм. В верхних частях рудных жил широко развиты черниевые руды.

Среднее содержание урана в рудах месторождения колеблется от 0,05 до 0,2%. Запасы значительные. Разрабатывается. На базе месторождения построены обогатительная фабрика и завод производительностью 150 тыс. т руды в год.

Месторождение Мерисвейл. Это месторождение, как уже отмечалось, является примером близповерхностного образования, связанного с проявлением молодого альпийского магматизма. Месторождение расположено в штате Юта, США, в 12 км к северо-востоку от г. Мерисвейл, в периферической части крупнейшего ураноносного района США — плато Колорадо. Оно было обнаружено по выходам желтых окисленных урановых минералов.

В районе месторождения (рис. 35) широко развиты третичные вулканические породы, перекрывающие палеозойские и мезозойские отложения, выступающие на поверхности в виде отдельных останцов. Среди третичных вулканогенных толщ выделяются две серии: ранняя — серия Бейлион Каньон, — представленная преимущественно латитами, андезитами, их туфобрекчиями, и более поздняя — серия Маунт Белнап, — сложенная кислыми эффузивами — красноватыми риолитами и их туфами.

Интрузивы имеют третичный возраст и представлены разными по времени образования и составу породами. Они внедрились уже после образования пород серии Бейлион Каньон, но раньше серии Маунт Белнап. Наиболее ранними из интрузивного комплекса являются порфиры, затем кварцевые монцониты, дающие постепенные переходы к гранодиоритам и гранитам. В связи с воздействием интрузивных порфиров и кварцевых монцонитов вмещающие их породы серии Бейлион Каньон сильно изменены. По описанию Гренера, Фетцера, и Рапппорта, поздние риолиты серии Маунт Белнап перекрывают эродированные поверхности интрузивов.

Оруденение приурочено преимущественно к монцонитам и отчасти к риолитовым туфам серии Маунт Белнап. Это не позволяет связывать его с гранитоидами, которые являются более древними, чем риолиты и их туфы. По представлениям исследователей, оруденение связано с глубокими магматическими очагами, которые проявились в виде экструзии. С ними в районе место-

рождения связаны также термальные источники. Таким образом, возраст оруденения весьма поздний, возможно, даже чет-

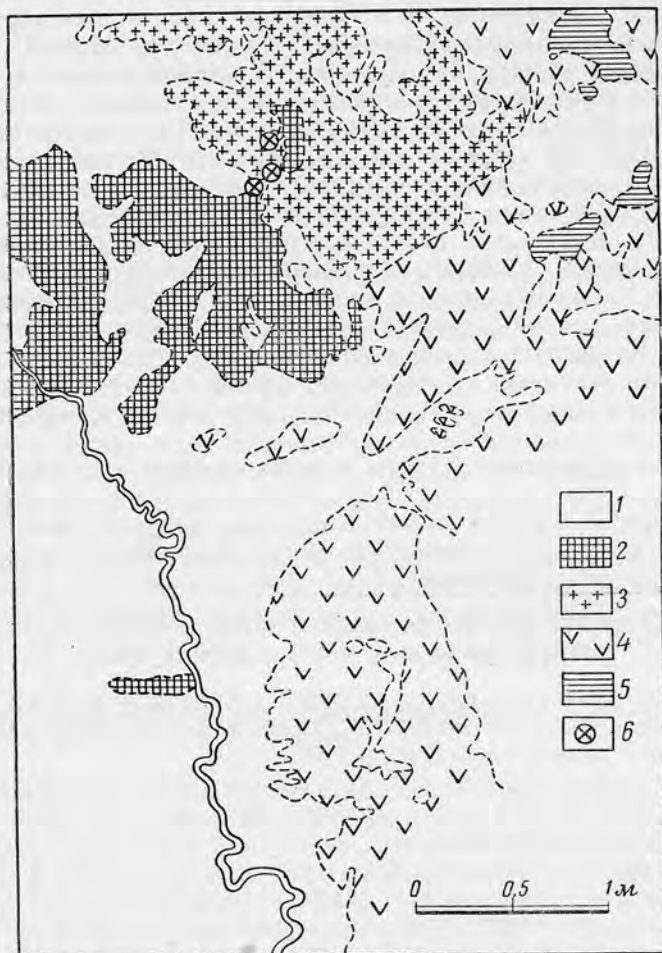


Рис. 35. Схематическая геологическая карта месторождения Мерисвейл штат Юта, США (по Гренеру, Фетцеру и Раппопрту)

1 — аллювий; 2 — риолиты Белпит; 3 — кварцевые монзониты; 4 — вулканические породы Бейлио Каньон; 5 — порфиры; 6 — рудник

вертичный, что является единственным известным в настоящее время фактом.

Урановая минерализация приурочена к тонким трещинам скальвания, выполненным глиной трения, и к вмещающим их гидротермально измененным породам, слагающим рудные зоны.

Простиране рудных зон СВ 50—75°, падение почти вертикальное. Рудные зоны сопровождаются маломощными жилами или линзами, сложенными кварцем, часто халцедоновидным или опаловидным, флюоритом и небольшим количеством кальцита, а также вкрапленностью магнетита, пирита, иордизита (аморфный сульфид молибдена) и смолки. Урановая смолка в рудных зонах образует участки мощностью до нескольких сантиметров. Местами, там где флюорит окружает обломки и образует друзы в пустотах, зоны брекчированы. Урановое оруделение обычно приурочивается к участкам развития флюорита, хотя имеются скопления флюорита и без урановой минерализации. Последовательность образования первичных минералов такова: халцедоновидный кварц, флюорит, урановая смолка, пирит, иордизит, кальцит. В боковых породах наблюдаются изменения типа аргиллитизации, сопровождаемые новообразованиями серицита, каолинита, гидрослюд, монтмориллонита и других минералов глини.

В зоне окисления, распространяющейся на глубину до 60 м, встречаются шрекингерит, отенит, торбернит и, возможно, уранофан.

Эксплуатационные работы ведутся на двух главных рудных зонах.

Содержание урана участками достигает 2%. Однако среднее содержание в добываемой руде ввиду разубоживания ее, по-видимому, значительно ниже.

О других рудных формациях и генетических типах гидротермальных месторождений урана

Кроме описанных основных рудных формаций и типов урановых месторождений, можно выделить и ряд других, менее характерных. Отметим некоторые из них.

Тип урановых месторождений в грейзенах имеет весьма подчиненное значение. Обычно они представлены кварц-вольфрамитовыми или кварц-касситеритовыми жилами, содержащими в том или ином количестве урановую смолку, относящуюся к более поздним стадиям минерализации. Известны выделения уранинита, урановой смолки или черни, встречающиеся с другими минералами в грейзенах. Такими сопутствующими минералами являются пирит, арсенопирит, молибденит, иногда саффорит-раммельсбергит, редко — висмутин или самородный висмут. Они, а также кварц, флюорит, хлорит, кальцит проявляются в виде прожилков, секущих грейзены. Скопления смолки представлены линзами или гнездами и достигают 100 м в длину и до нескольких сантиметров мощности. Иногда смолка присутствует в тесном парагенезисе с флюоритом.

Собственно урановая формация характеризуется залеганием рудных тел среди эффузивов или гипабиссальных гранитоидов. Руды представлены кварцем с небольшим количеством хлорита, карбонатов, флюорита, серицита и барита,

а также рудных минералов — урановой смолки, пирита, галенита, сфалерита, иногда молибденита, арсенопирита, марказита и блеклых руд; очень редко встречаются кобальтин, аргентит или кубанит.

Для данной формации характерно отсутствие или очень слабое развитие ранних досмолковых стадий минерализации, а также совершенно незначительное участие в выполнении рудных жил сульфидов, представленных преимущественно редкой вкрапленностью. Не менее характерно наличие жил и прожилков, сложенных полностью или преимущественно смолкой. Для некоторых месторождений количество стадий минерализации достигает четырех.

В. С. Карпенко к собственно урановой формации относит месторождение, приуроченное к альбитизированным песчанкам в осадочно-эффузивной толще палеозоя. Оруденение, характерное для них, представлено плоскими линзообразными телами песчаников, в которых карбонат цемента замещен урановой смолкой. Кроме урановой смолки, в незначительном количестве в рудах присутствуют гематит, магнетит, пирротин, арсенопирит, халькопирит, пирит, сфалерит и галенит.

Охарактеризованные типы можно дополнить еще урановорудным и некоторыми другими.

Урановая минерализация может встречаться среди любых проявлений гидротермального характера. Однако не все они достаточно изучены. Промышленное значение таких проявлений невелико или неясно.

Некоторые обобщения по гидротермальным месторождениям урана

1. Среди гидротермальных месторождений урана можно выделить две неравноценные подгруппы: подгруппу высокотемпературных месторождений, сравнительно немногочисленных, куда входят преимущественно метасоматические, и подгруппу многочисленных средне- и низкотемпературных месторождений, формировавшихся путем заполнения жильных трещин или метасоматически.

Средне- и низкотемпературные месторождения представлены большим количеством рудных формаций и типов, связанных с различными геологическими структурами, литологической обстановкой, геохимическими условиями рудообразования в их многообразных сочетаниях. Кроме выделенных главных рудных формаций и типов, отмечен ряд промежуточных и других, еще недостаточно изученных типов.

Выделенные рудные формации обычно характеризуют собой достаточно индивидуализированные месторождения. Вместе с тем в ряде случаев различные формации имеют ряд общих черт, будучи связаны с одним источником (магматическим оча-

гом) в едином прерывистом процессе минерализации, разделяющемся на отдельные этапы и стадии. Последние нередко проявляются в одних и тех же рудных полях, месторождениях и даже в рудных телах.

2. Гидротермальные месторождения урана являются магматогенными, т. е. источником рудоносных гипогенных растворов, по всей вероятности, была магма гранитоидного состава. Однако вопрос о магматогенном происхождении месторождений не всегда решается с достаточной уверенностью; высказываются и другие предположения об их генезисе. Особенно резкие расхождения существуют в вопросе генезиса месторождений железо-урановой и медно-кобальтово-урановой формаций.

3. Гидротермальные месторождения урана имеют различный возраст — от протерозойского до позднегерцинского и, возможно, даже четвертичного. Оруденение наиболее крупных месторождений имеет докембрийский и верхнепалеозойский (герцинский) возраст. Мезозойские и кайнозойские месторождения характеризуются меньшим масштабом оруденения. Различия месторождений разного возраста выражаются также в особенностях геологических структур, литологических особенностях пород и гидротермальных изменениях их. Имеются некоторые данные о позднейшей гипогенной минерализации в пределах докембрийских месторождений, не связанной с их первичным формированием (район Биверлодж и др.). Эти данные основаны на резко различном абсолютном возрасте уранового оруденения разных этапов минерализации. Высокотемпературные месторождения урана кайнозойского возраста неизвестны.

4. Месторождения урана обычно пространственно связаны с интрузивами гранитоидов, преимущественно сильно дифференцированных, сопровождающихся жильными породами. Оруденение, как правило, возникает после внедрения даек. В отдельных районах, где проявлены рудные формации, значительно разобщенные во времени, в период между их образованием отмечено внедрение внутриформационных даек кислого состава.

Некоторые месторождения второй подгруппы пространственно связаны с экструзиями и эффузивами и с сопровождающими их субвулканическими интрузивами. По всей вероятности, источником рудоносных растворов явились магматические очаги, поставлявшие материал для эффузивных пород и экструзий (месторождение Мерисвейл и др.).

5. Высокотемпературные месторождения урана, по всей вероятности, формировались на большей глубине, чем средне- и низкотемпературные. Последние, как правило, характеризуются малой глубиной.

6. В образовании некоторых месторождений докембрийского возраста очень важную роль играли складчатые и связанные

с ними дизъюнктивные нарушения, имеющие характер зон смятия. В формировании средне- и низкотемпературных месторождений, относящихся по времени образования к герцинской и альпийской складчатостям, основную роль играли дизъюнктивные нарушения, часто связанные с крупными рудоконтролирующими региональными разломами.

Рудовмещающими структурами средне- и низкотемпературных месторождений, как правило, являются нарушения второго и высших порядков, и наиболее часто — системы оперяющих нарушений и трещинные зоны. Лишь в редких случаях оруденение размещается в зонах главных разломов.

7. Во многих случаях рудовмещающие и рудоконтролирующие нарушения были заложены задолго до начала процесса гидротермальной минерализации. Нередко эти нарушения закладывались еще во время складчатости как трещины скальвания, но при последующих и сопровождавших минерализацию движениях часто развивались как трещины разрыва. Относительная открытость трещин, разломов и контактов пород, брекчированность вдоль них, места их сопряжения и пересечения и т. п. — все это было важнейшими условиями образования средне- и низкотемпературных месторождений.

8. При образовании месторождений, отдельных рудных тел и рудных столбов в них огромное значение имел состав вмещающих пород, оказывавших большое влияние на характер трещин и на локализацию в них оруденения. Благоприятными являются углистые, графитовые, битуминозные породы, а также амфиболиты, габбро, диабазы, хлоритовые сланцы, дорудные скарны и другие, обогащенные двухвалентным железом породы. В некоторых случаях благоприятными оказываются доломиты, перемежающиеся с графитовыми сланцами (Шинколовбе), и аргиллиты (Эйс-Фей). Граниты в одних случаях были благоприятными (например, месторождения Франции), в других — неблагоприятными и даже ограничивающими распространение оруденения на глубину (Рудные Горы). Рудные столбы и обогащенные участки нередко развивались при пересечении жилами даек лампрофиров, силлов амфиболитов и т. п.

9. При локализации оруденения в отдельных случаях существенную роль играл фильтрационный эффект.

10. На локализацию уранового оруденения оказывает влияние не только первичный состав вмещающих пород, но и измененные, например хлоритизированные и пиритизированные, породы, если такое изменение предшествовало рудной минерализации.

11. Формирование гидротермальных месторождений урана обычно протекало на фоне продолжающихся напряжений и подвижек, которые приводили к изменению физико-химических условий отложения руд, и в связи с этим — состава растворов и минерализации. Различные этапы минерализации могут быть

связаны с совершенно разными по времени эндогенными процессами. Урановое оруденение может быть проявлено на разных этапах и стадиях минерализации, но в ряде случаев особенно характерна его связь с поздними стадиями.

Руды средне- и низкотемпературных месторождений характеризуются частым развитием текстур разлома, полосчатых, симметрично-полосчатых, брекчиевых, друзовых и колломорфных.

Поисковые признаки гидротермальных месторождений урана

Поисковые признаки гидротермальных месторождений урана для разных подгрупп и рудных формаций существенно различны. Частично они уже рассмотрены выше при характеристике месторождений. Здесь мы сформулируем лишь главные из них, касающиеся средне- и низкотемпературных месторождений.

Поисковые признаки могут быть подразделены на магматические, структурные, литологические и минералого-геохимические. В процессе геологоразведочных работ эти признаки должны учитываться не порознь, а в сочетании друг с другом. Чем отчетливее и в большем сочетании проявлены перечисленные признаки, тем больше вероятность выявить оруденение урана.

Магматические признаки

1. Кислые и щелочные интрузивные породы, преимущественно поздних этапов развития подвижных геосинклинальных зон, представленные биотитовыми калиевыми щелочными гранитами или снититами, бостонитами; особенно благоприятны те породы, которые имеют повышенный кларк урана или с которыми связана та или иная радиоактивность. Кислые калиевые граниты, аплитовидные граниты и аляскиты древних щитов, наблюдающиеся в районах развития железистых формаций и щелочного метасоматоза.

2. Субвулканические и экструзивные образования поздних этапов геосинклинального развития с теми или иными признаками ураноносности.

Структурные признаки

1. Крупные региональные разломы и особенно те из них, с которыми связаны радиоактивность или проявления урановой минерализации.

2. Разломы меньших порядков, сопряженные оперяющие нарушения, системы трещин скола и разрыва, зоны смятия и трещиноватости, системы параллельных и пересекающихся трещин, связанные как с крупными разломами, так и со складча-

тостью, при наличии благоприятных металлогенических признаков и особенно проявлений урановой минерализации.

3. Структуры брекчирования и приоткрывания нарушений и трещин различных систем и различного происхождения в пределах благоприятных для локализации оруденения структур крупных порядков.

4. Сорванные контакты с интрузивными породами и дайками при наличии проявлений радиоактивности.

5. Пересечение нарушениями и жильными трещинами даек и литологически благоприятных пород в пределах ураноносных полей и узлов.

6. Структуры экранирования в пределах ураноносных рудных полей и месторождений.

Литологические признаки

1. Участки распространения пород углистых, графитовых, битуминозных, пород с органическими остатками, богатых двухвалентным железом, например, амфиболитов в районах проявления урановой минерализации.

2. Участки хлоритизации и пиритизации, предшествующих урановой минерализации, дорудные скарны.

3. Проявления гематитизации и связанное с этим покраснение вмещающих пород.

4. Проявления других типов гидротермального изменения пород: окварцевания, серицитизации, полевошпатизации, аргиллитизации, пиритизации и развивающейся по ней лимонитизации и т. п.

Минералого-геохимические признаки

1. Проявление минерализации сульфидной, полиметаллической, серебряной, никель-кобальтовой с висмутом, а также кварц-карбонатной, флюоритовой и иной в районах, благоприятных в магматическом и структурном отношениях.

2. Проявления указанной минерализации, сопровождающиеся радиоактивностью или урановой минерализацией.

КЛАСС II. ЭКЗОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА

Экзогенные месторождения урана весьма многочисленны и нередко являются источником получения промышленных руд. Весьма значительное количество урана сосредоточено также в рудах с низким—непромышленным его содержанием. Эти руды слагают огромные площади и представлены черными битуминозными углистыми, дикионемовыми и другими сланцами, фосфатными породами, лигнитами и другими осадочными образованиями.

Как известно, экзогенные процессы, приводящие к образованию рассматриваемых месторождений, протекают на поверхности земли и обусловлены проявлением солнечной энергии, деятельностью атмосферных агентов—воды, кислорода воздуха, углекислоты, а также флоры и фауны. Эти процессы прежде всего выражаются в физическом, химическом и биохимическом выветривании горных пород и руд и проявляются обычно совместно друг с другом, а также с процессами переноса продуктов выветривания под влиянием силы тяжести, воды, ветра.

Поскольку уран имеет широкое распространение не только в первичных рудных скоплениях, но и во многих типах горных пород, а также в почвах, и в связи с тем, что многие его соединения обладают большой растворимостью, он легко мигрирует в поверхностных условиях. Выветривание горных пород и степень растворения соединений урана зависят от климата, а также от состава пород и минералов, подвергающихся выветриванию. Выветривание пород, в которых в том или ином виде содержится уран, и растворение урановых соединений происходят особенно интенсивно в жарком и влажном климате, слабее—в умеренном климате и весьма слабо—в холодном. В полярных и высокогорных условиях местами могут образовываться россыпи уранинита и смолки. Более часто возникают россыпи урансодержащих минералов—тантало-ниобатов, редких земель и др.

Растворение урановых соединений, происходящее в процессах выветривания, зависит от состава пород и минералов и от различных форм нахождения в них урана. Формы нахождения урана были охарактеризованы выше, в разделе «Геохимические особенности урана».

Наиболее трудно разрушаются такие минералы, как сложные окислы — браннерит, давидит, тантало-ниобаты и титано-тантало-ниобаты, силикаты и фосфаты редких земель и тория, силикаты циркония — циркон, малакон, циртолит и др. Большая устойчивость многих этих минералов к процессам химического выветривания и поверхностного окисления является причиной того, что они подвергаются преимущественно физическому выветриванию, образуя при этом россыпные месторождения.

Окислы урана — уранинит, урановая смолка и урановая чернь разрушаются сравнительно быстро. Эти минералы неустойчивы к процессам не только механического, но и химического выветривания, легко растворяются и в поверхностных условиях редко сохраняются неизменными. В связи с этим в продукты механического разрушения и в россыпи они попадают лишь в тех исключительных случаях, когда процессы окисления не развиваются. К тому же смолка хрупкая, а урановые черни обычно представляют собой рыхлые образования, что также способствует их разрушению. Химическое выветривание уранинита и смолки часто приводит к образованию псевдоморфоз, выполненных вторичными гидроокислами и силикатами урана, реже урановыми чернями. По мнению Ч. Ф. Девидсона, уранинит, содержащий повышенное количество тория, более устойчив в поверхностных условиях, чем обычный уранинит.

Минералы шестивалентного урана, представленные преимущественно вторичными супергенными образованиями, — гидросиликатами и гидроокислами, более устойчивы в зоне гипергенеза, чем окислы — уранинит и смолка. Другие минералы шестивалентного урана легко растворимы в слабокислых растворах и легко переотлагаются в поверхностных условиях. Вторичные урановые минералы обычно встречаются на поверхностных выходах как эндогенных, так и экзогенных осадочных образований.

Характер первичных источников урана, несомненно, имеет важное значение для образования экзогенных месторождений. Однако наличие в качестве таких источников только коренных месторождений, как это думают некоторые исследователи, не обязательно. Это соображение вытекает из данных о повышенном содержании подвижного урана во многих типах горных пород, о большой его миграционной способности и различных способах осаждения урана. На растворимость урана, а следовательно и на его перенос, большое влияние оказывает рН рас-

творов, ионный состав вод, а также количество и состав растворенных в воде газов.

В переносе урана в поверхностных условиях очень важное значение имеют, как известно, геоморфологические особенности местности, определяющие как сохранение зоны окисления и образование месторождений коры выветривания, так и различные условия переноса и отложения урановых соединений, создающие определенные предпосылки для образования осадочных месторождений. Уран может переноситься не только поверхностными, но и подземными водами с образованием в таких случаях инфильтрационных или эпигенетических месторождений.

На образование экзогенных месторождений очень большое влияние оказывают органические вещества. Они обуславливают возникновение органических, в частности, гуминовых кислот, способствующих, во-первых, растворению и переносу урана и, во-вторых, как показал Н. М. Страхов, — осаждению металлов, в частности, урана. Эти соединения способствуют возникновению восстановительных условий при диагенезе осадков, с чем связано осаждение урановых соединений. Большое значение при экзогенных процессах имеет, наконец, адсорбция урана различными породами.

Разные условия развития экзогенных процессов, различия в характере переноса материала выветривания, осаждении и миграции урана, — все это приводит к образованию его различных экзогенных месторождений. Среди них различают две большие группы: месторождения выветривания и осадочные.

ГРУППА I. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЫВЕТРИВАНИЯ

К месторождениям выветривания, как известно, относятся такие месторождения, которые образуются в коре выветривания горных пород или в тесной связи с нею и происходящими в ней процессами. Среди таких месторождений можно выделять, во-первых, образования зон окисления ранее существовавших или существующих месторождений, во-вторых, инфильтрационные месторождения. Последние в свою очередь могут быть подразделены на ряд типов.

Подгруппа 1. Зона окисления урановых месторождений

Общие условия развития зоны окисления

Зона окисления урановых месторождений, развивающаяся в верхней части первичных эндогенных или осадочных месторождений, обычно непосредственно с ними связана и изучается совместно. Лишь при глубоком развитии процессов окисления или в случае образования зоны цементации (вторичного обогащения), развивающейся в связи с зоной окисления, она

иногда приобретает самостоятельное значение. В некоторых случаях зоны окисления и цементации образуются также в результате поверхностного изменения непромышленных месторождений или оруденелых пород.

Важность и необходимость изучения зоны окисления урановых месторождений вызвана рядом обстоятельств: во-первых, развитием в верхних частях месторождений иного, чем в сульфидной зоне состава руд, требующих применения особых методов технологической обработки; во-вторых, возможностью выявления признаков, которые указывают на характер и поведение первичных руд на глубине и позволяют производить обоснованную оценку перспектив месторождения; и, в-третьих, в целях выявления поисковых признаков оруденения.

Зона окисления урановых месторождений имеет много общего с зоной окисления сульфидных месторождений. В связи с этим нет необходимости останавливаться на общих вопросах ее формирования.

В образовании зоны окисления огромную роль играют циркулирующие воды. Гидрогеологи выделяют сверху вниз следующие зоны: аэрации, колебания уровня подземных вод, интенсивного водообмена, затрудненного водообмена, наконец, весьма затрудненного водообмена или практически застойную зону.

В зоне аэрации просачивающиеся воды наиболее обогащены кислородом и углекислотой и обладают максимальной окисляющей способностью. Они оказывают также механическое и физическое воздействие на окружающие породы, особенно в самых верхних частях месторождений. В связи с этим здесь интенсивно развиваются процессы выщелачивания.

В зонах колебания уровня подземных вод и интенсивного водообмена происходит периодическое промывание руд или ураносодержащих пород просачивающимися водами в периоды понижения уровня грунтовых вод, содержащих в незначительных количествах растворенный кислород. Процессы окисления в этих зонах протекают также интенсивно, хотя и более медленно. Механическое выщелачивающее воздействие вод в последних двух зонах значительно меньше такового в верхних зонах. Воды здесь минерализованы слабее и имеют гидрокарбонатный, иногда сульфатный, а в засушливых районах сульфатно-хлоридный состав (А. Н. Токарев и А. В. Щербakov). Процессы окисления этих зон сопровождаются переотложением вторичных минералов — гидроокислов, сульфатов, карбонатов и др. В зоне затрудненного водообмена, где возникают воды щелочного типа, развиваются процессы цементации и вторичного обогащения, протекающие в окислительно-восстановительной среде. Наконец, в зоне весьма затрудненного водообмена первичные урановые минералы уже не изменяются.

Значение основных факторов в развитии зоны окисления

Среди факторов, обуславливающих возникновение зоны окисления и влияющих на ее развитие, главное значение имеют климат, геоморфологическое строение, геологическая структура и гидрохимические особенности месторождения. Из местных факторов важную роль играют минеральный состав первичных руд и их текстуры, состав, условия залегания и физические свойства вмещающих пород.

Роль климата проявляется в суточных и годовых колебаниях температуры, в количестве выпадающих осадков, в развитии растительного покрова, а также в скорости развития химических реакций, происходящих в зоне окисления. Чем теплее климат и больше выпадает осадков, тем интенсивнее протекают процессы окисления и выщелачивания.

Геоморфологические факторы активно влияют на развитие зоны окисления: чем положе рельеф, тем благоприятнее условия для развития зоны окисления, и, наоборот, резкий рельеф, где скорость эрозии велика, не способствует образованию зоны окисления. Снос материала выветривания происходит быстрее развития зоны окисления.

Минералого-химический состав вмещающих пород и особенно руд также является важным фактором формирования зоны окисления урановых месторождений, так как он определяет ионный состав воздействующих растворов и концентрацию в них таких ионов как SO_4^{2-} , SiO_4^{4-} , CO_3^{2-} , UO_4^{3-} , PO_4^{3-} , AsO_4^{3-} , MoO_4^{2-} и др.

Наконец, в формировании зоны окисления важное значение имеет проницаемость пород и руд, определяющая интенсивность проникновения поверхностных вод и растворенного в них кислорода, и развитие процессов окисления.

Глубина проникновения свободного кислорода изменяется в широких пределах и зависит: от климата, проницаемости пород, структурных условий, положения уровня грунтовых вод и других факторов. Работами советских и зарубежных исследователей установлено, что окисленная зона урановых месторождений интенсивно развивается в условиях не только тропического, но и умеренного климата. В условиях сухого жаркого и умеренного климата зона цементации урановых месторождений выражена более четко, чем в условиях влажного климата. Так, в бессульфидных месторождениях зона окисления в условиях умеренного климата проявляется слабо и выражается лишь в образовании гидроокислов и карбонатов урана. В засушливом климате эта зона также слабо выражена: обычно происходит вынос урана и адсорбция его гидроокислами железа и марганца. Зона окисления в бессульфидных месторождениях интенсивно развивается в условиях жаркого и влажного климата.

Зона окисления урановых месторождений наиболее интенсивно развивается в условиях жаркого, влажного и умеренного климата в присутствии избыточных сульфидов. В. Г. Мелков, занимавшийся изучением этой зоны, главным фактором ее образования считает высокую пиритность руд. В этих условиях сульфатные растворы интенсивно воздействуют на окислы урана. В результате они разрушаются и образуются легкорастворимые соли типа сульфата уранила UO_2SO_4 . При обилии выпадающих осадков сульфат уранила реагирует с кремневой, фосфорной и мышьяковистой кислотами с образованием на месте вторичных гидросиликатов урановых слюдок или выносятся за пределы месторождения. При недостатке влаги из сульфатных растворов могут выпадать сульфаты в виде циппента $(UO_2)_2(OH)_2SO_4 \cdot 5H_2O$, ноганнита $2(UO_2)SO_4 \cdot Cu(OH)_2 \cdot 6H_2O$ * и др. Наличие этих минералов позволяет судить о неглубоком расположении первичных руд.

Общий ход развития зоны окисления

Процесс окисления первичных окислов урана, по мнению В. Г. Мелкова, протекает в основном двумя путями: 1) путем окисления соединений четырехвалентного урана и их гидратации с образованием по ним псевдоморфоз, а также самостоятельных рассеянных кристаллов и мелких друз гидроокислов и силикатов урана; 2) путем окисления четырехвалентного урана в шестивалентный, растворением последнего с последующим переносом и осаждением его соединений в результате различных химических реакций — гидролиза, изменения рН, а также сорбции и т. п.

Первый путь имеет место при окислении месторождений бессульфидных или малосульфидных руд, второй — при окислении первичных руд со значительным количеством сульфидов. А. Г. Бетехтин отмечает, что гипергенные гидроокислы урана развиваются непосредственно на первичных окислах урана в условиях, когда в растворах не хватает тех анионов, с которыми уранил легко образует соли — силикаты, фосфаты, сульфаты и др.

Окисление четырехвалентного урана в шестивалентный и гидратация с образованием псевдоморфоз по ураниниту и урановой смолке протекают почти одновременно; лишь в редких случаях наблюдается образование гидроокисла четырехвалентного урана — янтинита. Чаще образуется смесь различных гидроокислов урана, называемых общим термином — гуммит.

При развитии процессов окисления в условиях затрудненной циркуляции вод гидроокислы урана превращаются в его гидросиликаты: соддит — $5UO_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 6H_2O$ *, склодовскит —

* По М. В. Соболевой и И. Л. Пудовкиной.

$MgO \cdot 2UO_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 7H_2O$, уранофан — $Ca(UO_2)_2[Si_2O_7] \cdot 6H_2O$ и др. При этом происходит вынос урана.

Гидроокислы и гидросиликаты урана в зоне гипергенеза более устойчивы, чем его окислы. Последние часто окружены оторочками гидроокислов урана, а гидроокислы в свою очередь — оторочками гидросиликатов урана, которые, по данным А. Г. Бетехтина, наименее растворимы из вторичных соединений урана и поэтому чаще, чем другие его соединения, встречаются в зоне окисления. В одних условиях гидроокислы замещаются урановыми слюдками, в других — растворяются и выносятся. Экспериментальными и полевыми исследованиями установлено, что урановые слюдки образуются из холодных растворов в результате разных реакций соединения или замещения, или при нейтрализации кислых растворов, как это было показано выше, или, наконец, в результате испарения растворителя. При этом, по мнению В. Г. Мелкова, обычно наблюдаются следующие закономерности. В осадочных месторождениях около скоплений урановых минералов, как правило, образуются ванадиевые и реже — фосфатные слюдки, в то время как для эндогенных месторождений более характерны фосфатные и мышьяковые слюдки и менее характерны — ванадиевые. Примечательно также, что ближе к месторождению — коренному источнику — образуются обильные мелкочешуйчатые слюдки, а вдали от него — более крупные, но редкие выделения слюдок. На выходах эндогенных руд развиваются слюдки, относительно богатые ураном — трегерит $UO_3 \cdot As_2O_5 \cdot 12H_2O$; дальше от него располагаются слюдки, в состав катионов которых входят также железо и медь, еще дальше — кальцийсодержащие слюдки.

При окислении осадочных месторождений в карбонатной среде одним из первых минералов образуется шрекингерит $Ca(OH)_2 \cdot 2CaCO_3 \cdot UO_2 \cdot CO_3 \cdot Na_2SO_4 \cdot 9H_2O$. Сульфат-карбонаты урана развиваются иногда при $pH \geq 7$ и при окислении гидротермальных месторождений. В. В. Щербина считает, что в зоне окисления миграция урана происходит не только в виде сернокислого уранила и углекислых соединений типа UO_2CO_3 и $Na_4UO_2CO_3$, но также и в виде солей гидроокиси $UO_2(OH)_2$ и комплексных солей органических кислот. Соли гидроокиси урана легко адсорбируются коллоидной кремнекислотой с образованием гиалитов, а также глинистыми минералами, гидроокислами железа, псиломеланом и др. Наличие гиалитов является важным поисковым признаком месторождений урана.

Зона цементации или вторичного обогащения в гидротермальных месторождениях урана нередко выражена весьма отчетливо. Она располагается ниже зоны окисления и выщелачивания и представляет собой уже результат проявления процессов инфильтрации. Эта зона характеризуется развитием чернистых руд, среди которых присутствуют как остаточные, так и регенерированные черни. Остаточные черни являются продуктом

начального разрушения уранинита или урановой смолки и могут давать представление о размерах, характере и условиях залегания первичных руд. Регенерированные черни образуются из растворов, выщелачивающих уран из зоны окисления, и отлагаются в восстановительных условиях. В. Г. Мелков отмечает, что регенерированные черни обычно не связаны с какой-либо определенной системой тектонических нарушений.

А. Г. Бетехтин связывает формирование зоны цементации с образованием легкорастворимых сульфатов уранила при наличии в первичных рудах пирита и марказита. По его мнению, ниже уровня грунтовых вод происходит восстановление шестивалентного урана до четырехвалентного с образованием урановых черней и неравномерным обогащением ураном не только рудных тел, но и боковых пород.

Урановые черни отлагаются вдоль мелких трещин в виде налетов, а также в пустотах среди зерен сульфидов и нередко — в железисто-магнезиальных породах, например в диабазах, амфиболитах и других основных породах, а также в ураноносных углях в связи с восстанавливающим действием их углерода.

Зона цементации может иметь значительную мощность и является объектом добычи промышленных руд. Содержание урана в таких зонах для некоторых месторождений составляет около 0,1% и более (месторождения Сань-Фанэ во Франции). Известны урановые месторождения, представленные преимущественно зоной цементации.

О глубине зоны окисления и о вторичной зональности

Глубина зоны окисления урановых месторождений в зависимости от конкретных условий колеблется в широких пределах. Чаще всего она составляет несколько десятков метров, но для отдельных месторождений, при наличии оптимальных условий ее формирования, достигает нескольких сотен метров. Как уже отмечалось, в условиях резкого рельефа, когда скорость эрозии превышает скорость развития процессов окисления, глубина зоны окисления обычно незначительна, и первичные руды нередко выходят на поверхность.

Вторичная зональность наблюдается в месторождениях с развитой и глубокой зоной окисления. В. Г. Мелков приводит для одного из таких месторождений следующий пример вторичной зональности (сверху вниз):

1. Подзона гидросиликатов урана. Представлена уранофаном и ураносодержащими минералами в виде гиалита, кальцита и лимонита.

2. Подзона урановых слюдок, преимущественно фосфорно-кальцевого состава — отенит. При наличии в первичных рудах меди и мышьяка здесь появляются также медные урановые минералы (торбернит) и мышьяковые слюдки (цейнерит). При

этом отенит развивается обычно на верхних горизонтах, а торбернит, цейнерит, ураноспинит — на нижних.

3. Подзона выщелачивания. Минералы урана отсутствуют.

4. Подзона остаточных урановых черней.

5. Зона цементации. Развита регенерированные урановые черни.

Приведенный пример вторичной зональности, выраженной выделенными подзонами (рис. 36), довольно типичен. Однако

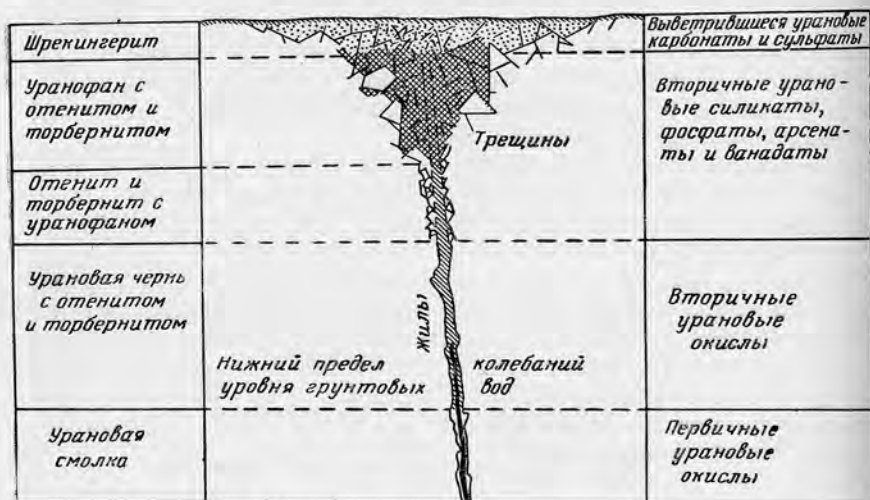


Рис. 36. Диаграмма, показывающая вторичную зональность в зоне окисления месторождения Мерисвейл (по Стюгардту и др., 1952)

нередки случаи, когда некоторые подзоны проявлены слабо или отсутствуют. В частности, известны случаи, когда плохо выражена или отсутствует подзона выщелачивания, или когда подзона остаточных черней почти не выделяется из зоны цементации.

Различное строение зоны окисления отражает многообразие условий ее формирования. При этом необходимо учитывать и время (геологический возраст) образования зоны окисления, а также климатические, геоморфологические и другие условия, существовавшие во время ее формирования. Эти условия, особенно климат, могли быть совершенно иными, чем в современную эпоху.

Значение зоны окисления при поисках и оценке урановых месторождений

Зона окисления имеет очень большое значение как поисковый критерий при поисках и оценке урановых месторождений. Многие крупные месторождения урана открыты по выходам

ярко окрашенных окисленных руд. В то же время имеется немало примеров, когда такие выходы не привлекали внимания геологов, так как их смешивали с другими образованиями, и месторождения долгое время оставались необнаруженными. Иногда проявления окисленных урановых или урансодержащих минералов на поверхности выходов урановых месторождений не интенсивны или вовсе отсутствуют. Это объясняется выщелачиванием урана из верхних частей зоны окисления. Гамма-активность таких выходов нередко бывает совершенно незначительной, поэтому выявить подобные месторождения даже с приборами очень трудно. Это обстоятельство требует от геолога большого внимания к любым проявлениям зоны окисления, в каких бы выходах кремнистых, лимонитизированных и выщелоченных пород они ни были обнаружены.

Всякие зоны окисления должны тщательно изучаться с точки зрения минералогии, реликтовых текстур и выяснения типа и характера первичных образований. При этом необходимо обращать внимание на следующее:

1. На минеральный состав поверхностных выходов. В частности, следует детально проверять, имеются ли выделения гялита и другие урансодержащие минералы — лимонит, окислы марганца и т. п. При минералогическом исследовании зоны окисления применяются люминесцентный, оптический, микрохимический и другие методы.

2. На окисленные минералы, особенно желтые, оранжевые, коричневые. Их следует собрать и подвергнуть определению качественными химическими и другими методами. Тщательному определению на присутствие урановых черней должны быть подвергнуты также темные землистые образования.

3. На текстуры руд, особенно реликтовые, а также псевдоморфозы минералов и реликты первичных выщелоченных минералов.

4. На характер изменения окружающих пород как первичных, так и вторичных.

5. На пространственное распределение окисленных минералов урана, что может привести к выяснению характера и состава первичных руд и их расположения.

6. На возможность сдвига радиоактивного равновесия в сторону урана, что отражается на уменьшении гамма-активности.

Подгруппа 2. Инфильтрационные месторождения

Среди месторождений выветривания, кроме зон окисления и цементации, нередко встречаются месторождения собственно инфильтрационного типа. Они образуются в связи с корой выветривания, в сильно трещиноватых породах, в участках поверхностного разрушения пород, а также в карстовых пустотах путем

выпадения рудных веществ из холодных поверхностных растворов или подземных вод, выщелачивающих уран из горных пород. Инфильтрационные месторождения нередко образуются в верхних частях тектонических нарушений. Встречаются они довольно часто.

Среди подобных месторождений можно выделить три типа: трещинный, сорбционный и карстовый.

К первому, трещинному типу относятся месторождения Маунт Пейнтер и Слейсбек в Австралии.

Месторождение Маунт Пейнтер приурочено к участкам дробления среди гранито-гнейсов. Здесь наблюдаются небольшие скопления мартита, гётита, лимонита, псиломелана с участием фосфатов урана — отенита и торбернита, а также цейнерита, уранофана, ураноспинита, карнотита и других минералов. Скопления отенита достигают 22 см и встречаются в местах пересечения меридиональной зоны дробления с широтными нарушениями. На другом участке месторождения, являющемся уже примером образования руд сорбционного типа, оруденение приурочено к зоне смятия в сильно гематитизированных гранитах и содержит выделения обильного торбернита и окислов марганца. Среднее содержание урана составляло 0,4%. Месторождение Маунт Пейнтер разрабатывалось в небольшом масштабе.

Месторождение Слейсбек, разведанное в последние годы, находится в Северной Австралии, в 250 км к юго-востоку от порта Дарвин. Район месторождения сложен докембрийскими породами: кварцитами, углистыми и хлоритовыми сланцами, аргиллитами, песчаниками и другими, смятыми в складки, разбитыми тектоническими нарушениями. Кварциты и сланцы контактируют по тектоническому разлому, имеющему северо-западное простирание и крутое падение к северо-востоку. С ним связан ряд зон смятия, оперяющих или обособленных, имеющих северо-восточное либо близширотное простирание.

Оруденение локализуется в местах сочленения указанных нарушений среди углистых сланцев, залегающих в основании толщи хлоритовых сланцев и аргиллитов, подстилаемых гематитовыми кварцитами. Рудные тела расположены в полосе длиной около 200 м и шириной более 50 м и приурочены к разрывным нарушениям. Углистые сланцы способствовали локализации оруденения.

Руды представлены фосфатами и другими вторичными образованиями урана. Буровыми работами разведано пять рудных тел длиной по 150 м и мощностью до 30 м. Глубина распространения промышленного оруденения обычно составляет несколько десятков метров, форма рудных тел линзообразная и гнездообразная; оруденелые участки часто разобщены пустыми или слабооруденелыми породами. По содержанию металла здесь

различают богатые и более бедные руды. Среднее содержание урана в рудах не менее 0,2%. По запасам месторождение мелкое или среднее; разрабатывается открытым способом.

К этому же типу относится еще одно месторождение, расположенное в Северной Австралии, — Саус-Аллигатор. Вторичная минерализация урана здесь приурочена к хлоритовым сланцам. На этом месторождении строится небольшой завод для переработки руд.

Ко второму, сорбционному типу, имеющему также значительное распространение, относятся некоторые месторождения в Аргентине, в частности месторождение Соберания. Урановое оруденение приурочено к битуминозным глинистым сланцам, бентонитам и конгломератам триасового возраста. Оруденение представлено скоплениями шрекингерита и других вторичных минералов урана. Скопления урана имеют небольшие размеры, но местами представлены очень богатыми, «процентными» рудами. В данном случае оруденение было сорбировано глинами. Оно может быть сорбировано также битуминозными или углистыми породами, лимонитами и т. п.

Третий, карстовый тип, представляет собой ванадиево-урановые, карбонатно-баритовые скопления, заполняющие карстовые пустоты в известняках. Образование таких месторождений связано с выщелачиванием водами поверхностного происхождения урана, ванадия и меди из окружающих пород и переотложения их в карстовых пустотах под воздействием карбонатных пород. Месторождения данного типа имеют более ограниченное распространение, чем месторождения первого и второго типов. Одно такое месторождение, по описанию А. П. Кирикова, приурочено к известнякам нижнего карбона, подстилаемым сланцами и вулканогенными породами девонского возраста. Породы палеозоя в западной части района перекрыты мощными третичными конгломератами. Палеозойские толщи сильно дислоцированы, при этом нижнекарбонные известняки разбиты меридиональными нарушениями, пересекающимися с системой широтных межпластовых трещин. На пересечении нарушений указанных систем развиты карстовые воронкообразные пустоты, к которым приурочены ураноносные рудные тела. Рудные тела представлены рядом воронок, имеют трубообразную форму и выполнены концентрически нараставшими минеральными агрегатами.

Главное рудное тело от периферии к центру имеет следующее сложение: шестоватый сталактит и карстовая сталактитовая кора; зона рудного мрамора, состоящая из кальцита с ванадатами и другими вторичными минералами урана; концентрическая зона красного барита; зона серого барита; ядро рудного тела, выполненное глинистым материалом и гипсом; в осевой части тела наблюдаются пустоты.

Среди минерального выполнения присутствуют кальцит, красный, серый и черный барит, гипс, тюямунит, хризоколла, малахит, псевдоморфозы пироморфита по галениту (?) и гидрокислов железа по бариту. Черный барит содержит уран, красный — гидроокислы железа.

Месторождение имеет незначительный масштаб. О генезисе его высказаны две точки зрения. Одна, наиболее распространенная, допускает инфильтрационное происхождение месторождения; другая — связь его с зоной окисления гидротермального месторождения, в подтверждение чего указывается на наличие барита в рудах. Согласно обоим гипотезам образование месторождения связывается с корой выветривания.

К инфильтрационным месторождениям некоторые исследователи относят также месторождения, приуроченные к речным песчаникам, конгломератам и каустобиолитам и асфальтитам. Однако к типу инфильтрационных месторождений урана следует относить лишь такие, которые образуются в связи с подземной циркуляцией вод, выщелачивавших соединения урана из горных пород и выносивших их на то или иное расстояние за пределы распространения этих пород. Такие месторождения, к сожалению, часто трудно выделять из числа осадочных с хорошо выраженными стадиями эпигенеза и гипергенеза, когда происходило перераспределение рудного вещества в тех же породах.

Некоторые обобщения по месторождениям выветривания урана

1. Месторождения выветривания образуются на поверхности выходов первичных руд как эндогенных, так и осадочных, а также обособленно от них в результате процессов поверхностного окисления и выщелачивания пород.

2. Главное значение среди месторождений выветривания имеют рудные образования зоны окисления и тесно связанная с ней зона цементации, которые развиваются в верхних частях первичных месторождений урана. Это выражается, во-первых, в особенности развития вторичных окисленных руд, требующих специфических методов переработки, и, во-вторых, в геологических особенностях строения верхних частей месторождений, которые необходимо учитывать при разведке и разработке месторождений. Зона окисления развивается как в гидротермальных, урановых месторождениях, так и в осадочных и имеет почти одинаково важное значение при поисках и разведках.

3. При большой глубине развития зоны окисления и значительном эрозионном срезе урановых месторождений зона окисления иногда является главным объектом получения промышленных руд (например, некоторые месторождения Португалии и плато Колорадо).

4. Важное в ряде случаев самостоятельное промышленное значение имеет также зона цементации, развивающаяся ниже зоны окисления (некоторые месторождения Франции).

5. Зона окисления и связанная с ней зона цементации развиваются по-разному в зависимости от климатических, геоморфологических, структурно-тектонических и других условий. Интенсивность развития зоны окисления во многом зависит от присутствия в рудном теле сульфидов, в особенности от количества пирита. В условиях резкого рельефа и холодного климата зона окисления урановых месторождений обычно развивается слабо.

6. В зоне окисления нередко наблюдается вторичная вертикальная зональность.

7. Инфильтрационные месторождения, образующиеся в связи с корой выветривания, встречаются довольно часто. Некоторые из них, особенно месторождения трещинного и сорбционного типов, иногда характеризуются значительными скоплениями относительно богатых урановых руд.

8. В локализации трещинных и карстовых месторождений, образующихся вблизи коренных источников урана, важную роль играют трещинные структуры, особенно в сочетании с благоприятным литологическим составом пород; в локализации сорбционных месторождений — главным образом состав пород (среда), в сочетании с другими факторами.

ГРУППА II. ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА

Осадочные, или седиментогенные месторождения урана составляют очень важную и многочисленную группу месторождений, имеющих большое промышленное значение. Несмотря на сравнительно низкое в общем качество руд этих месторождений по содержанию урана, они часто обладают очень большими запасами урана, что при массовой добыче, преимущественно открытыми работами и при простых способах переработки обуславливает рентабельную эксплуатацию. Среди месторождений данной группы имеются также отдельные типы их, характеризующиеся высоким качеством руд, мало отличающимся от руд гидротермальных месторождений. О накоплении урана в осадочных породах известно давно, однако только в последние годы установлено, что среди осадочных пород имеются месторождения или крупные залежи с промышленным его содержанием.

Первичные источники урана при образовании осадочных месторождений

Как известно, осадочный процесс складывается из стадий выветривания, переноса материала, отложения или седиментации, диагенеза и эпигенеза осадков. При этом стадия выветри-

вания является только предпосылкой для образования осадочных месторождений. Особенности и типы этих месторождений определяются стадиями осадкообразования: 1) переносом и отложением материала; 2) диагенезом; 3) эпигенезом¹.

Главными факторами образования осадочных месторождений урана являются климат, геоморфологические условия и первичные источники материала, в частности, форма нахождения урана в них. В тех случаях, когда уран находится в породах или месторождениях в малоподвижной форме, в виде устойчивых трудно разрушающихся минералов, осадочные месторождения его формируются преимущественно путем механического переноса и отложения. Подвижный уран, наоборот, как мы видели выше, легко переходит в растворы и переносится в растворенном состоянии. Его осаждение может происходить в разных формах и на самых различных расстояниях от первичного источника.

Осадочные месторождения урана формировались как в результате разрушения более древних месторождений и скопленный этого элемента, так и за счет различных, преимущественно кристаллических, в частности, изверженных пород кислого и щелочного состава, содержащих повышенное количество рассеяного урана в подвижных формах. Такой тип осадочных месторождений, отнюдь не столь редкий, имеет важное практическое значение. Известны осадочные месторождения, образованные за счет разрушения протерозойских гранитов в среднем и верхнем палеозое, а также за счет каледонских варисских гранитов в юрском и меловом периодах и т. п.

Широкое площадное развитие имеют также осадочные месторождения, впоследствии метаморфизованные в протерозое и в нижнем палеозое. Они образовались за счет архейских гранитов и связанных с ними пегматитов. Источниками некоторых осадочных месторождений могли быть и эффузивы.

Осадочные месторождения как механические, так и хемогенные, пространственно оторваны от источников своего происхождения и этим они кардинальным образом отличаются от месторождений выветривания. Несмотря на то, что процессы механического и химического осаждения обычно связаны и нередко проявляются в одних и тех же, особенно прибрежных, частях водоемов, месторождения такого типа можно разделить на механические, или россыпные, и хемогенные, так как формы переноса и характер осаждения урана их различны.

¹ В последних работах Н. М. Страхова, которые здесь еще не могли быть учтены, обосновано выделение следующих стадий: 1) седиментогенеза, 2) диагенеза, 3) катагенеза и 4) раннего метаморфизма, или протометаморфизма; с последней обычно связывается формирование осадочно-метаморфогенных месторождений.

Значение различных стадий осадочного процесса в формировании месторождений урана

Перенос урана осуществляется различным путем: механическим — в виде устойчивых в определенных условиях минералов, например монацита, тантало-ниобатов, браннерита, а в полярных условиях, возможно, также и в виде простых окислов; в растворенной форме — в виде простых и комплексных ионов; в сорбированном состоянии — в глинистых, кремнистых, фосфатных и органических веществах.

Осаждение урана может происходить как в стадию сингенеза, так и диагенеза, когда осадки превращаются в горную породу. В эту стадию, в соответствии со взглядами Н. М. Стрехова, благодаря возникающим при окислении органических веществ восстановительным процессам и происходит отложение основного количества урана. А. Г. Бетехтин отмечает, что в осадках, которые отлагаются выше нижней границы зоны кислородного насыщения водоемов, трудно ожидать сингенетических скоплений урана, за исключением не успевающей сгнить захороненной древесины.

Диффузия ионов урана в стадии диагенеза вызвана разностью концентраций вод грунтового и наддонного слоев и происходит в направлении низких его концентраций до прекращения осаждения урана. В указанных условиях уран восстанавливается до четырехвалентного и выпадает в виде черной или смолки нередко вместе с сульфидами.

Большое значение часто имеет также перераспределение урана в стадию эпигенеза, что объясняется его высокой подвижностью. При этом в ряде случаев именно в эту стадию, благодаря тем или иным условиям, образуются промышленные скопления урана. Такими благоприятными условиями являются не только состав пород, но и смена фаций, движение в них подземных вод, состав этих вод, а также проходящие в них процессы химического взаимодействия в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала, величины рН и т. д.

Месторождения, где была интенсивно проявлена стадия эпигенеза, некоторые авторы рассматривают как инфильтрационные, в отрыве от других стадий осадочного процесса, проявленных во время их формирования. В свете современных представлений об осадочном процессе как о сложном и многостадийном такое выделение часто условно. Исключением являются те месторождения урана, при рассмотрении которых можно уверенно судить об иных, не связанных с накоплением вмещающей оруденение толщи источниках урана. К таким собственно эпигенетическим (инфильтрационным) месторождениям А. Г. Бетехтин относит лишь некоторые месторождения в каустобиолитах, песчаниках и конгломератах.

Среди осадочных месторождений выделяются также такие, в которых промышленные концентрации урана были образованы в связи с процессами межпластового окисления после смятия пород в складки. Одни исследователи (Д. Г. Сапожников, А. Г. Перельман, 1958 г.) относят процесс рудообразования в особую стадию катагенеза, другие выделяют стадию гипергенеза.

Таким образом, формирование многих осадочных месторождений урана складывается из нескольких стадий. Изучение показывает, что осадочные месторождения урана, представленные только одной, сингенетической стадией, в природе встречаются редко. К ним относятся прибрежно-морские, дельтовые и дюнные россыпи и, возможно, темные урансодержащие битуминозные сланцы. Большинство других осадочных месторождений формировалось более сложным путем в несколько стадий.

Способы и условия осаждения урана из растворов

Осаждение урана, переносимого в растворенном состоянии, может происходить как на суше, по пути движения вод, так и в водоемах — реках, болотах, озерах и морях. В стадию эпигенеза осаждение урана происходит и в подземных условиях в проницаемых породах, по которым могут циркулировать подземные воды в верхних зонах земной коры, в результате поверхностного и подземного дренажа. Эти воды отличаются от гидротермальных растворов низкой температурой, низкой концентрацией солей, особенно вдали от источников, при этом циркуляция их происходит при низком внешнем давлении.

По мнению Д. В. Гренера, выщелачивание и отложение может происходить много раз еще до достижения значительной концентрации урана. При этом уран осаждается вследствие сезонного испарения, что зависит от размеров бассейна и характера дренажа. Концентрация урана в тонких донных осадках, обогащенных органическими соединениями, в течение нескольких лет может достигнуть 0,01—0,1%.

В условиях движения подземных вод по пористым породам, подстилаемым плотными слоями, уран растворяется и легко осаждается при наличии углеродистого вещества и сероводорода, обуславливающих появление восстановительной обстановки. По данным Р. М. Триппа, важную роль в отложении урановых руд приобретает частая смена фаций и особенно смена проницаемых пород малопроницаемыми и наоборот. При многократном переотложении рудного вещества размещение рудных скоплений может существенно отличаться от первоначального в процессе осадкообразования.

На поверхности или вблизи нее при взаимодействии пород и проникающих в них вод, а также под воздействием различных органических веществ происходят самые различные реак-

ции, являющиеся причиной осаждения тех или иных урановых соединений. Возможны следующие способы осаждения урана:

1. В результате реакций гидролиза в связи с изменением рН растворов. Однако, как мы видели при рассмотрении зоны окисления урановых месторождений, соединения типа $UO_2(OH)_2$ выпадают при рН 4,25 (В. В. Щербина). Поэтому такой способ осаждения возможен только из кислых вод, образующихся возле сульфидных месторождений.

2. В результате восстановительных реакций, связанных с изменением валентности U^{+6} на U^{+4} . Такие реакции имеют широкое развитие при взаимодействии водных растворов с растительными и животными остатками, углистыми породами, а также, по мнению Н. М. Страхова, в стадии диагенеза, в связи с восстановительными условиями, возникающими при гниении органических остатков и образовании сероводорода.

3. В результате реакций урановых соединений с кремневой, фосфорной и мышьяковистой кислотами с образованием трудно растворимых солей этих кислот.

4. Вследствие сорбции урана органическими и неорганическими соединениями.

Осаждение урана происходит на континентах в пределах русел рек, в дельтах, в болотах и озерах, а также в заливах, лагунах и в шельфовых областях морей. Области развития глубоководных осадков для образования урановых месторождений неблагоприятны. Пока не известно ни одного месторождения урана, которое можно было бы с уверенностью отнести к осадочным глубоководным образованиям.

В качестве наиболее благоприятных для образования осадочных месторождений урана рассматриваются континентальные зоны гумидных равнин и прибрежные зоны древних водоемов, протягивающиеся полосой до 10, реже 30—40 км от берега и характеризующиеся преимущественно грубозернистыми фациями. Наиболее благоприятными для накопления урана, по Я. Д. Готману, являлись при этом участки, где существовали спокойные гидродинамические условия, благоприятные для накопления органического вещества, особенно участки заливов и лагун, отделявшихся от открытого моря барами.

Из выделенных Н. М. Страховым типов осадочного процесса наиболее благоприятный для образования осадочных урановых месторождений является гумидный, характеризующийся большой ролью органических веществ и развитием процессов сорбции. Уран сорбируется аморфными осадками гидратов железа, алюминия, марганца, кремнезема, глинистыми минералами и органическими соединениями. По мнению К. Ж. Белла, сорбция уменьшается, если осаждение происходит в водах, содержащих свободный кислород или карбонатный ион.

Г. Мур приводит следующие данные о поглотительной способности различных веществ после извлечения из них сернокислых солей уранила (в %):

кварц	0,0	фосфаты	63,0
кальцит	16,0	торф	98,0
графит	28,0	лигнит	98,4
бентонит	28,0	суббитуминозный уголь	99,9

Из этих данных следует, что наибольшую поглотительную способность имеют угли, лигниты и фосфаты.

Е. В. Рожкова с группой сотрудников провела более детальные и точные исследования сорбционной способности различных образований и пришла к выводу, что в песчаниках, обогащенных органическим веществом, содержание урана прямо пропорционально количеству этого вещества. Ею установлено также, что сорбция урана возрастает с увеличением удельной поверхности органических веществ.

Классификация осадочных месторождений урана

Характерной особенностью осадочных месторождений урана, как мы уже отметили, является тесная связь его с органическим веществом осадков и фосфатами; устанавливается также связь урана с битуминозным веществом, представляющим собой продукт окисления нефтей. Месторождения урана встречаются как в континентальных отложениях, в особенности в красноцветных и угленосных, так и в морских — терригенных, фосфоритовых, глинисто-углисто-сланцевых и т. п.

Многообразие геохимических условий, вызывающих осаждение соединений урана при экзогенных процессах, и большая его подвижность являются причиной не менее широкого разнообразия фациальных условий, в которых происходит формирование осадочных месторождений урана. Они образуются вблизи первичных источников и вдали от них: в отложениях рек, болот и озер, а также в прибрежных частях морей: в лагунах, заливах и т. п.

Таким образом, месторождения урана формируются в потоковых, пойменных, болотных, озерных, дельтовых, лагунных, прибрежно-морских, шельфовых и других фациях; исключением являются морские глубоководные фации.

Многообразие ураносных фаций определяет и различные закономерности проявления в них оруденения. Поэтому изучение этих фаций, сопровождающееся применением палеографического анализа, должно служить основой для познания осадочных урановых месторождений. Беря за основу фации осадков и их распространение, представляется возможным выделить следующие подгруппы и типы осадочных месторождений урана:

Подгруппа 1. Месторождения, приуроченные к речным, озерным и болотным отложениям; среди них в свою очередь выделяются следующие месторождения:

- а) в речных конгломератах и песчаниках часто с органическими, преимущественно растительными остатками;
- б) в озерных и болотных отложениях с органическими, преимущественно растительными остатками;
- в) в каменных углях, лигнитах и сопровождающих их породах;
- г) в породах, обогащенных асфальтитами.

Подгруппа 2. Россыпные месторождения — прибрежно-морские, дельтовые и дюнные россыпи.

Подгруппа 3. Месторождения, приуроченные к морским отложениям, среди которых в свою очередь выделяются следующие месторождения:

- а) в песчаниках;
- б) в глинах с остатками рыб;
- в) в битуминозных сланцах;
- г) в фосфоритах;
- д) в карбонатных породах.

Перечисленные осадочные фации далеко не равноценны по продуктивности, размерам и промышленному значению приуроченных к ним месторождений. Однако все они являются ураноносными или урансодержащими, и к ним часто приурочены месторождения, которые в той или иной степени используются в горной промышленности.

Подгруппа 1. Месторождения, приуроченные к речным, озерным и болотным отложениям

Месторождения в речных конгломератах и песчаниках

Месторождения ураноносных песчаников, конгломератов и нередко связанных с ними аргиллитов и алевролитов широко распространены и имеют очень важное промышленное значение. Они отличаются непостоянной мощностью пластов и отдельных свит и горизонтов, сложной перемежаемостью различных по составу пород, развитием косой слоистости и другими признаками, свидетельствующими об их образовании в речных условиях. Урановое оруденение в этих отложениях распространяется иногда на значительных площадях. Наиболее часто оруденение приурочено к русловым фациям осадков и тесно связано с органическими, главным образом растительными остатками, являющимися осадителями урана из растворов поверхностного происхождения. Большое значение в осаждении урана имеют также прослой аргиллитов и алевролитов и их перемежаемость с песчаниками. Оруденение встречается в эоловых песчаниках или в озерных известняках, в толщах потоковых фаций.

Большое значение в образовании рассматриваемых месторождений имеют древние русла, заполненные речными конгломератами, обогащенными растительными остатками. Эти отло-

жения, будучи погребенными и перекрытыми более молодыми осадками, часто несут довольно богатые скопления урановых руд в виде слепых рудных тел, не выходящих на дневную поверхность.

Примером такого типа оруденения являются многочисленные месторождения плато Колорадо в США, имеющие очень важное промышленное значение. В последние годы месторождения подобного типа выявлены и за пределами плато Колорадо в других штатах США в отложениях различного возраста, а также в других странах (например, в Мексике).

Изучение месторождений рассматриваемого типа показало, что они приурочены к различным стратиграфическим горизонтам, весьма сложны по своему генезису и характеризуются рядом геологических особенностей. Для них прежде всего отмечается довольно сложный состав руд, представленный ассоциацией урана с ванадием и медью, причем содержания этих металлов нередко являются промышленными. Минеральный состав руд разнообразен и представлен урановой смолкой или чернью, иногда коффинитом, монтрозентом и сульфидами. Нередко наблюдается замещение этими минералами растительных остатков с сохранением строения растительной клетчатки.

Осаждение урановых и других соединений происходило в восстановительных условиях, возникших в связи с присутствием органических остатков. Образование урановых руд в породах, лишенных таких остатков, А. Г. Бетехтин объясняет полным переходом растительных остатков в CO_2 . Со сменой окислительных условий восстановительными связана локализация уранового оруденения, что доказывается его приуроченностью к участкам, где красноцветные песчаники сменяются серыми или темно-зелеными.

Речные ураноносные фации характеризуются сложной перемежаемостью песчаников, аргиллитов, алевролитов, а иногда и конгломератов, изменчивой мощностью слоев и горизонтов, косой слоистостью пород. Некоторые исследователи (Джубен) в качестве благоприятного фактора рудоотложения указывают на относительную проницаемость пород.

Важное значение для локализации урана имеют также процессы окисления. С ними связана дополнительная миграция урана и сопровождающих его компонентов и изменение состава руд. Например, как выяснилось в последние годы, давно известная на плато Колорадо «карнотитовая формация» представляет собой по существу огромную по площади зону окисления, развившуюся в связи с глубоко врезанной речной системой р. Колорадо. Ниже залегают первичные руды. А. Г. Бетехтин совершенно правильно отмечает, что «... при окислении уранованадиевых руд, несомненно, происходит инфильтрация поверхностных растворов с частичным переотложением новообразований». Однако это не является достаточным основанием для от-

несения указанных месторождений к типу инфильтрационных. Процессы инфильтрации были проявлены, по-видимому, лишь в одной из стадий формирования месторождений, преимущественно в стадию эпигенеза. Поэтому многие исследователи такие месторождения считают осадочными с так или иначе выраженными стадиями диагенеза, эпигенеза и гипергенеза.

Группа месторождений плато Колорадо. Урано-ванадиевые месторождения плато Колорадо США представляют собой интересную в генетическом и важную в промышленном отношении группу месторождений. Генезис ее все еще недостаточно выяснен. Месторождения открыты в 1899 г. и в сравнительно небольшом масштабе разрабатывались на радий, а затем на ванадий. Интенсивная разработка началась лишь с 1948 г. в связи с открытием новых областей применения урана и объявлением в США высоких гарантийных цен на урановые руды.

Из тысячи известных месторождений подавляющее количество их относится к числу мелких, давших до 1 тыс. *t* руды и эксплуатировавшихся кустарным способом. В числе месторождений рассматриваемой группы имеются и крупные, запасы руд которых исчисляются миллионами тонн — это Ми-Вида, Монумент Валли, Уайт Каньон, Хеппи Джек, Гранд-Джакшн, Джекпайл и др., а также средние, с запасами руд, составляющими сотни тысяч тонн.

Урановые месторождения плато Колорадо распространены на огромной площади — свыше 250 тыс. км² в западной части США в штатах Юта, Колорадо, Аризона, Нью-Мексико, и за их пределами. Наиболее крупные месторождения расположены в штатах Нью-Мексико и Юта; в первом в настоящее время сконцентрировано более 70% всех промышленных запасов урана США.

Плато Колорадо является типичной платформенной областью. Платформенный режим здесь сохранился с верхнепалеозойского и доверхнемелового времени. Р. П. Фишер полагает, что платформенный режим в данной области имел место даже начиная с докембрия и был нарушен только в верхнем палеозое. В связи с крупными тектоническими движениями в соседней складчатой области — в Скалистых горах, в верхнем палеозое оформилось наиболее значительное поднятие Анкомпагре северо-западного простирания и ряд других антиклинальных поднятий и соляных куполов, расположившихся вдоль его юго-западного крыла. Образование соляных куполов продолжалось и позднее, до середины мезозоя, и повторилось в третичное время.

Континентальные условия существовали в течение почти всего мезозоя (до верхнего мела) и обусловили развитие континентальных отложений мощностью до 3000 м; при этом наибольшая мощность отложений наблюдается лишь в западной

Сводный разрез верхнепалеозойских и мезозойских отложений плато Колорадо
(по Пулу и Вильямсу, 1956 г.)

Система, отдел	Формация, серия	Свита, горизонт	Мощность, м	Состав пород	Характеристика ураноносности
Верхний и нижний (?) мел	Дакота		0—200	Серые и бурые песчаники и сланцы	
	Перерыв				
Нижний мел	Барра-Каньон		0—250	Светлые песчаники и зеленые аргиллиты. Образуют вершину столовой горы. Отсутствуют в западной части района	
	Перерыв				
Верхняя юра		Браши Бейсин	30—500	Пестрые сланцы или аргиллиты; несколько линз песчаника. Слагают склоны. Широко распространены	Средние месторождения
		Вестуотер-Каньон	0—350	Светлые песчаники. Образуют уступы и террасы. Отсутствуют в северной части района	Крупнейшие месторождения
	Моррисон	Рикелчер	0—680	Красные сланцы и песчаники. Образуют уступы и террасы. Отсутствуют в северной части района	Средние и мелкие месторождения
		Солт-Уош	0—400	Светлые песчаники и красные аргиллиты. Образуют уступы и террасы. Широко распространены	Крупнейшие месторождения
	Блафф		0—55	Красные массивные песчаники	

	Саммервилл	0—400	Красные и серые сланцы. Тонкие пласты песчаников слагают склоны, увеличиваются по мощности к западу. Широко распространены	Мелкие месторождения
Верхняя юра	Кергис	0—100	Светлые песчанники. Отсутствуют в Южной Юте	Мелкие месторождения
	Энтрада	50—1000	Светлые плотные песчанники. Образуют уступ. Увеличиваются по мощности к западу, к красным землистым песчанникам	Средние месторождения
	Кармел Переры в	0—600	Красные землистые песчанники. Увеличиваются по мощности к западу, к серым и красным сланцам. Известняки и гипсы широко распространены	
Юра (?)	Навахо	0—2000	Красные песчанники с неправильными наслонениями. Образуют террасу. Отсутствуют в восточной части района	
	Кайента	0—300	Светлые плотные песчанники. Образуют уступы. Отсутствуют в западном Колорадо	Мелкие проявления
Верхний триас	Уингейт	0—400	Красные плотные песчанники. Образуют уступы. Отсутствуют в восточной части района	Мелкие проявления

Система, отдел	Формация, серия	Свита, горизонт	Мощность, м	Состав пород	Характеристика ураноносности
Верхний триас	Чинл	А* Пласт Грегори	0—350	Красные алевролиты и песчаники. Образуют выступы и склоны. Широко распространены	Крупные месторождения
			Аул Рок	0—450	
		Петрифайд Форест	0—700	Пестрые аргиллиты. Образуют склоны. Отсутствуют в Северной Юте. Широко распространены	
		Мосс-Бакк	0—150	Светлые конгломератовые песчаники. Образуют уступы. Заполняют древние русла. Широко распространены	
		Монитор Бьютт	0—250	Серые аргиллиты и песчаники	
		Шайнарамп Перерыв			
	0—700			Красные алевролиты и песчаники с волноприбойными знаками. Образуют склоны и выступы. Широко распространены	

Средний и нижний триас	Моэнкопи	Синбад	0—200	Известняки. Отсутствуют в восточной части района	Средние месторождения		
				0—200		Красные алевролиты с волноприбойными знаками. Образуют склоны и выступы. Уменьшаются в мощности к востоку	
Пермь	Кайбаб	Переры в	Хоскинини	0—120	Красные алевролиты. Отсутствуют в северной западной части района. Образуют крутые склоны и уступы	Мелкие месторождения	
				Уайт Рим	0—230		Белые песчаники. Отсутствуют в восточной части района. Образуют уступы
				Дечилли	0—850		Светлые песчаники. Отсутствуют в северной части района. Образуют уступы
				Орган Рок	250—800		Красные алевролиты. Отсутствуют в северной части района. Образуют крутые склоны
Пермь	Коканино	Катлер	Сидар Меса	0—1250	Светлые песчаники. Увеличиваются по мощности к северу. Образуют уступы и террасы		
			Халгайто	0—500	Красные алевролиты и песчаники. Отсутствуют в северной части района		
Пермь (?) и пенсильванский	Рико	—	300—500	Красные песчаники и алевролиты			

части плато, примыкающей к Кордильерской геосинклинали. Континентальные отложения мезозоя представлены преимущественно песчаниками, глинистыми сланцами и аргиллитами с редкими горизонтами известняков озерного и отчасти морского происхождения. В триасе значительное развитие получили конгломераты. Отложения мезозоя залегают на палеозойском основании несогласно и почти горизонтально.

Тектонические движения ларамийской эпохи, приведшие к формированию крупных складчатых зон Кордильер и Скалистых гор, нашли свое выражение и на плато Колорадо в виде нескольких широких складок и крутых флексур. Однако определение возраста таких структур и их выделение из числа более поздних третичных структур достаточно уверенно еще не сделано.

В пределах плато наблюдаются небольшие штокообразные и лакколитообразные тела монцитит-порфиров средне- и верхнетретичного возраста, распространенные преимущественно в восточной и центральной частях района. Более многочисленные третичные экструзии размещаются преимущественно в западной, южной и восточной периферических частях плато.

Сводный стратиграфический разрез плато Колорадо, по Ф. Г. Пулу и Г. А. Вильямсу (1956 г.) с характеристикой относительной продуктивности отдельных формаций и горизонтов показан в табл. 2.

Как видно из приведенной таблицы, главнейшие фации осадков представлены речными, озерными, эоловыми и, в небольшой части, прибрежно-морскими лагунными отложениями. Главнейшие урановые месторождения плато связаны с отложениями триаса и юры.

Урановые месторождения встречаются в отложениях различного возраста — от пенсильванского (верхний—средний карбон) до поздне третичного и наибольшее распространение имеют в формациях Чинл, Шайнарамп, Энтрада, Тодилто и Моррисон. Наиболее крупные месторождения приурочены к формациям Шайнарамп, Чинл и особенно Моррисон. В последней определено около $\frac{2}{3}$ всех запасов урана плато Колорадо.

В пределах формации Моррисон рудоносны не все свиты. Весьма продуктивной является свита Солт-Уош, менее продуктивной — свита Браши Бейсин. В последние годы в одном из районов установлена высокая продуктивность свиты Вестуотер, несущей оруденение асфальтитового типа.

Продуктивность указанных свит и формаций отчасти зависит от их распространенности и мощности отложений, вмещающих рудные тела.

Формация Чинл развита почти по всему плато Колорадо; породы, слагающие ее, формировались, по-видимому, в условиях широких пойма.

Залегающая в основании формации Чинл рудоносная формация Шайнарамп выражена конгломератами, а также песчаниками и аргиллитами русловой фации; при отсутствии этой свиты рудоносной является более верхняя свита, чаще всего песчаники свиты Мосс-Бакк. Формация Шайнарамп характеризуется обилием древесных остатков.

Оловяные песчаники формации Энтрада мощностью 15—30 м, несмотря на широкое распространение, менее продуктивны, вследствие отсутствия в них органических остатков.

Известняковая формация Тодилто имеет небольшую мощность и незначительное распространение; продуктивность ее также небольшая, что обусловлено незначительным участием в породах органических соединений (озерная фация).

Очень высокая продуктивность свиты Солт-Уош связана с литологическими особенностями пород, широким ее распространением (рис. 37) и большой мощностью отложений. Наконец, еще большая продуктивность свиты Вестуотер формации Моррисон, при ограниченном ее распространении связана с составом пород, представленным асфальтитовыми песчаниками. По данным Т. Е. Малленса и В. Л. Фримена, наибольшее количество промышленных месторождений, подчиненных отложению свиты Солт-Уош, располагается в средней части древнего аллювиального «клина». Осадкообразование происходило здесь из сложной системы потоков, направленных на север, северо-восток и юго-восток, периодически затоплявших равнину. Ось «клина» проходит в южной и центральной частях штата Юта, что доказывается сопоставлением разрезов. Из этого факта исследователи делают вывод, что месторождения формировались в условиях переноса и седиментации осадков, накапливавшихся в спокойных условиях.

Относительное значение различных свит и формаций в добыче урана в 1956 г., по данным Уилполта, характеризовалось следующими цифрами (в процентах): свита Солт-Уош 39%, формация Чинл (без Шайнарамп) 24%, формация Шайнарамп 16%, свита Браши Бейсин 9,8%, формация Тодилто 7,2% и остальные 4%.

Геологические структуры и оруденение. На плато Колорадо выделяется ряд антиклинальных поднятий, причем некоторые из них связаны с ларамийскими движениями. В. Л. Келли относит к ларамийским структурам поднятия Сан-Рафаэль и Монумент близмеридионального простирания, затем северо-западные поднятия Парадокс Валли, Зуни, а также купола Сан-Жуан, Ля-Сал и ряд других (рис. 38). Многие, в том числе крупные месторождения располагаются по периферии таких поднятий. Например, на периферии поднятия Сан-Рафаэль находятся месторождения Делта, Темпл, на периферии поднятия Анкомпагре — крупные месторождения Уайт Каньон, Гранд-Джакшн, в северо-восточной части поднятия Зуни—

месторождения Хейстек, Джекпайл, Лагуна, Амброзия Лейк и т. п. Ряд таких поднятий осложнен разломами, которые, однако, как правило, не контролируют оруденение, хотя в отдельных случаях некоторые исследователи связывают с ними

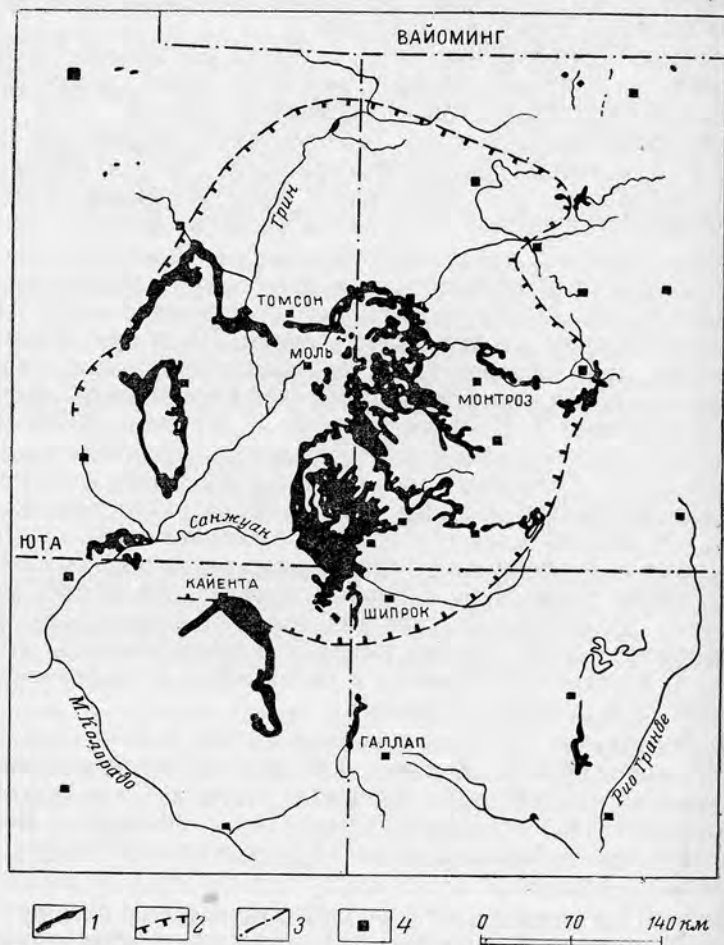


Рис. 37. Распространение свиты Солт-Уош, США (по Малленсу и Фримену)

1 — выходы пород формации Моррисон, 2 — площадь развития свиты Солт-Уош, 3 — границы штатов, 4 — месторождения

осветление пород. Следует отметить, что это изменение носит, по всей вероятности, гипергенный характер.

Такая приуроченность месторождений к антиклинальным поднятиям до сих пор не получила удовлетворительного объяснения. Некоторые исследователи, в том числе сторонники экзогенного образования месторождений, все же придают известное

значение в распределении и локализации оруденения структурным факторам. С такими факторами они связывают образование ряда зон, характеризующихся сосредоточением в них месторождений. Одна из таких зон — Ураванская (рис. 39) — протягивается в юго-западной части штата Колорадо в меридиональ-

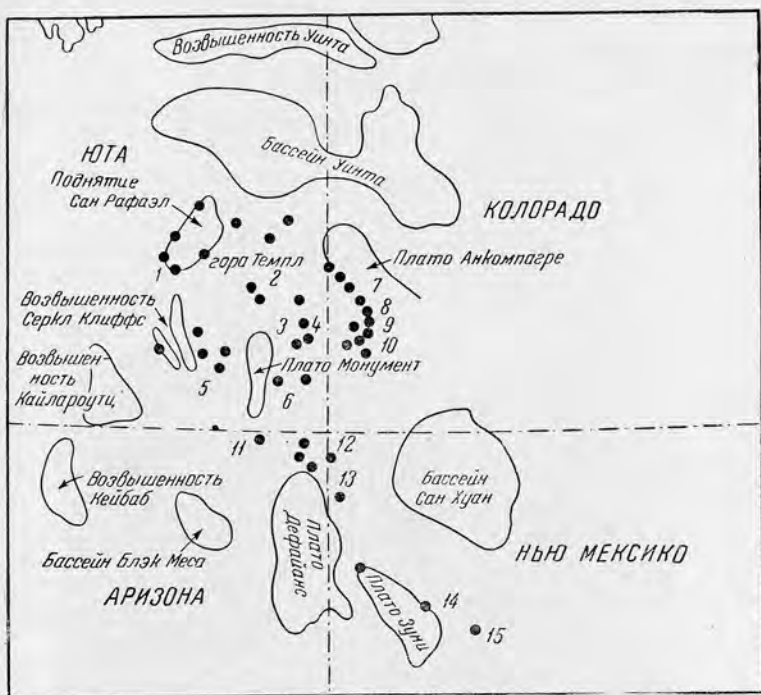


Рис. 38. Расположение месторождений на антиклинальных поднятиях и куполах плато Колорадо

Цифрами на карте показаны главнейшие месторождения: 1 — рудник Делта, 2 — Гетуей, 3—4 — месторождения группы Ми Вида, 5 — рудник Хеппи Джек, 6 — рудник Блендинг, 7 — Ураван, 8 — Парадокс Вали, 9 — Бул Каньон, 10 — Слик Рок, 11 — рудник Монумент № 2, 12 — рудник Ист Сайл, 13 — рудник Коув, 14 — рудник Хэйстэк, 15 — рудник Джекпайл

ном направлении на 80 км при ширине от 1,6 до 8 км. Она пересекает ряд складок северо-западного простирания, в том числе две соленосных. Месторождения этой зоны приурочены главным образом к формации Моррисон. Вторая зона — Монумент Вали северо-западного простирания протягивается на 64 км в породах формации Шайнарамп в северной части штата Юта; ширина зоны 13 км. Третья зона — Ист Уайт Каньон в юго-восточной части штата Юта протягивается также в породах формации Шайнарамп в широтном направлении на 48 км при ширине от 3 до 13 км. Наконец, четвертая зона — Моаб — шириной от 16 до 32 км

прослежена в юго-восточном направлении в средней и восточной частях штата Юта в породах формации Чинл. Она протяги-

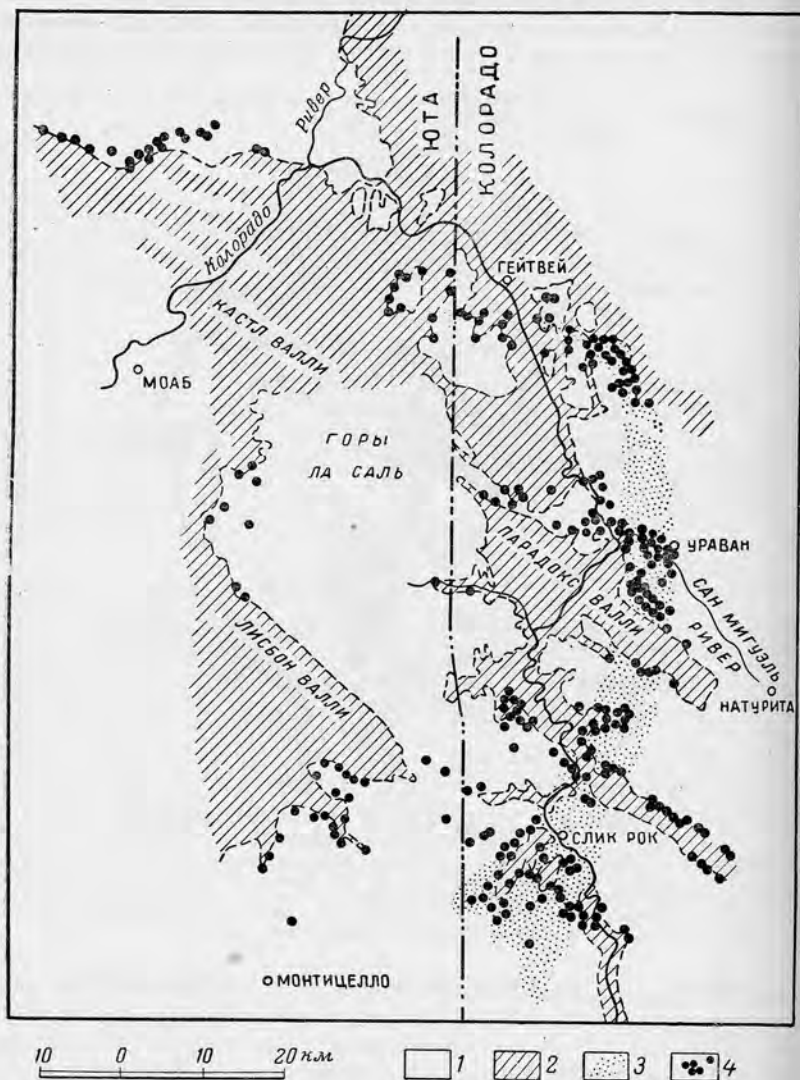


Рис. 39. Ураванская рудная зона (по Келли)

1 — породы свиты Моррисон, 2 — более древние породы, 3 — рудная зона, 4 — место-
рождения урана и ванадия

вается почти на 200 км. Перечисленные зоны ориентированы параллельно или под некоторым углом к региональным структурам.

Месторождение Рок Крак и другие в юго-западной части плато приурочены к трещиноватым зонам, а месторождения формации Тодилто отдельные авторы связывают с межпластовыми срывами, что, впрочем, вызывает сомнения. Наконец, ору-

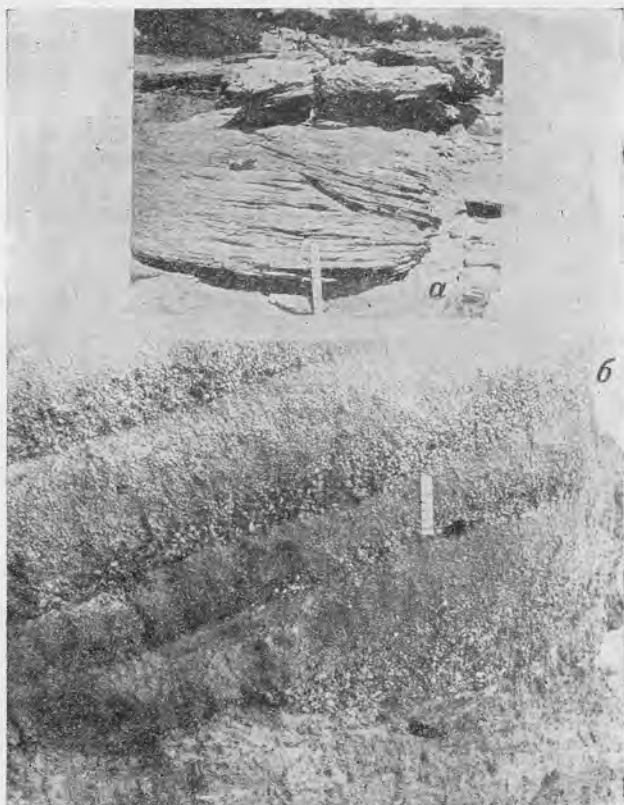


Рис. 40. Ураноносные песчаники плато Колорадо
(по Келли)
а — общий вид; б — характер отдельных пластов

денение встречается и в участках развития брекчий, например в рудном районе Лагуна.

Приводимые данные о роли геологической структуры во многом противоречивы и не могут умалить значения других главных факторов, контролирующих размещение оруденения, — стратиграфического и литологического.

Основные факторы локализации оруденения. При формировании месторождений охарактеризованных выше формаций действовали различные факторы приводящие: а) к образованию песчаников и конгломератов речного происхождения (рис. 40); б) к обогащению осадков органическими,

в частности, растительными остатками; в) к переслаиванию или перемежаемости песчаников с аргиллитами и алевролитами.

Кроме указанных основных факторов, важное значение также

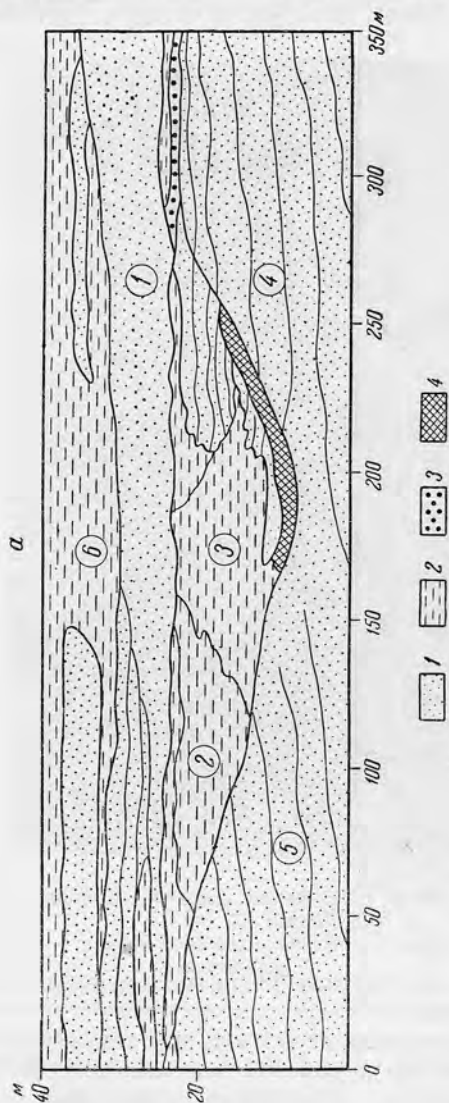


Рис. 41а. Схематический поперенный разрез рудоносного русла

участок Санрайз Ченел в месторождении Уайт Каньон. Юта (по Трайсу)

1—2 — песчаники и сланцы; цифрами в кружках показаны: 1 — массивные крупнозернистые косослоистые песчаники, обогащенные полипатами, 2 — красный плотный песчаник с редкими зернами карбоната, 3 — серый плотный известковистый песчаник, 4 — грубый известковистый песчаник, 5 — песчанник Моэнкопи, 6 — сланцы Чини; 3 — аргиллиты; 4 — рудные скопления

имели другие, частные факторы. Так, например, в накоплении формации Шайнарамп огромную роль играли древние русла (рис. 41). Они приурочены к депрессиям в подстилающей формации Моэнкопи, углубляющимся в нее до 43 м, и обычно выполненным конгломератами, несущими большое количество расти-

тельных остатков. По данным С. Уткайнда и других исследователей, такие древние русла протягиваются на расстояние до 3,5 км и более при ширине до 750 м, обычно от 20 до 120 м.

Для ряда других формаций и свит, и в том числе для свиты Вестуотер, очень важное значение имеет распространение асфальтитовых или, правильнее сказать, асфальтизированных песчаников. В свите Солт-Уош формации Моррисон и других, по Р. Райту, существенное значение для рудоотложения имели петрографический состав песчаников, представленный аркозовыми и слюдястыми разностями пород, а также отложения их

б

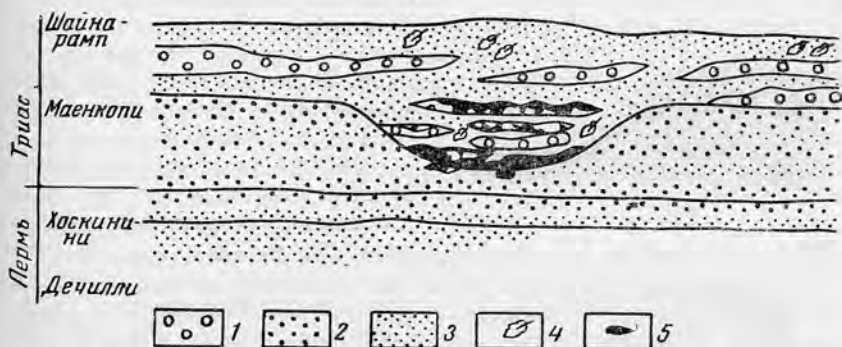


Рис. 41б. Поперечный разрез рудоносного русла. — Месторождение Монумент Валли (по Керру)

1 — конгломераты, 2 — аргиллиты, 3 — песчаники, 4 — окаменелые растительные остатки, 5 — руды

в восстановительных условиях. Это фиксируется по изменению окраски пород красной на серую.

Я. В. Изаксен указывает, что существенное значение в локализации руд имело количество глинистого материала в осадках.

Форма и размеры рудных тел месторождений, приуроченных к различным формациям, самые разнообразные; преобладают пластообразные залежи и тела, удлиненные в направлении напластования пород или древних русел. Встречаются и рудные тела, секущие плоскости напластования или изогнутые — «складчатые», распространенные главным образом в породах свиты Солт-Уош; такие тела нередко переходят в плоские пластообразные залежи; происхождение их связывают с неоднородностью состава пород свиты, повлиявшей на проникновение растворов. Часто встречаются мелкие гнездообразные тела и тела неправильной формы. Распространены также удлиненные стержнеобразные богатые урановые тела или «роллы» (рис. 42), сопровождающиеся более бедными рудами. Рудные тела формации Тодилто имеют пластообразную форму.

Строение рудных тел бывает различным в зависимости от распределения первичных и вторичных рудных минералов. Наи-

более часто наблюдаются вкрапленные руды, лишь местами образующие сплошные скопления, преимущественно за счет растительных остатков. Стержнеобразные тела имеют в разрезе следующий вид (от периферии к центру): плотный песчаник; песчаник, импрегнированный тьюмунитом; лимонитизированный песчаник; в ядре иногда наблюдаются стволы деревьев.

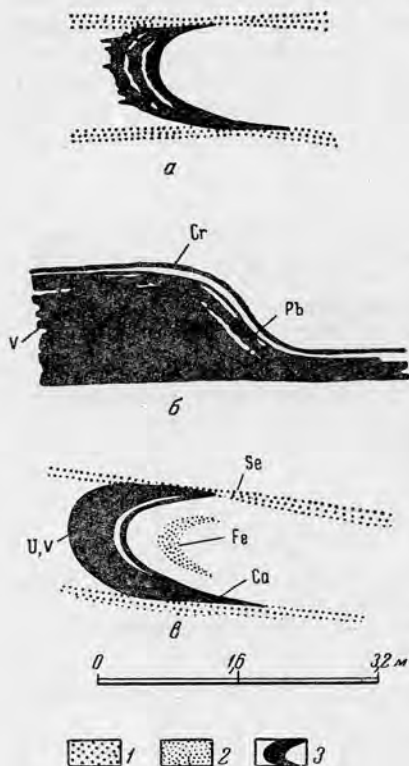


Рис. 42. Формы рудных «роллов» (по Шоу)

a — концентрические наслоения в С-образном ролле, *б* — асимметричное распределение редких элементов в рудном теле песчаника Навахо, *в* — асимметричное распределение редких элементов в рудном теле слоев свиты Солт-Уош

1 — аргиллиты; 2 — песчаники; 3 — урановые руды; Cr, V, Pb и т. п. — обогащение урановых руд указанным металлом

Размеры рудных тел разнообразные: от мелких в несколько метров до крупных, протягивающихся на сотни метров. Мощность их сильно меняется. Более крупные пластообразные тела имеют мощность от 1 до 6 м и более.

Характерной особенностью рассматриваемых месторождений является групповое расположение рудных тел на площади от одного до нескольких квадратных километров. Такие скопления рудных тел вытянуты, как и сами рудные тела, в одном направлении. Распределение отдельных рудных тел внутри группы контролируется местными факторами — строением русел, распределением органических остатков, перемежаемостью песчаников и алевролитов, наличием аргиллитовых линз (месторождение Хеппи-Джек), петрографическим составом пород и др. В пределах древних русел рудные тела не являются непрерывными. Нередко они сосредоточиваются в местах слияния двух и более русел, на пересечениях русел и широких депрессий и, в меньшей мере, на внутренних изгибах древних русел (Н. М. Дал, В. Макдональд). С. Уткайнд указывает, что к впадинам в древних руслах часто приурочены богатые рудные тела. Вещественный состав руд. Широкое распространение окисленных минералов — карнотита, тьюмунита и других в месторождениях плато Колорадо рассматривалось как основа-

ние для выделения карнотитовой формации инфильтрационного происхождения. Однако при дальнейших исследованиях в процессе интенсивной разведки и разработки было установлено широкое развитие первичных преимущественно рассеянных минералов урана. Последующее окисление этих минералов в верхних горизонтах привело к миграции урана и образованию в зоне окисления богатых промышленных руд, представлявших главный объект разработки.

Руды месторождений различных формаций содержат, кроме урана, ванадий и медь. Другие металлы — кобальт, никель, свинец, селен и молибден — присутствуют обычно в виде примесей.

В зависимости от соотношения главных компонентов в месторождениях плато Колорадо выделяются следующие типы руд: а) ванадиево-урановые, с отношением V_2O_5 к U_3O_8 , равным (1—20):1 (месторождения формации Моррисон и отчасти Чинл); б) ванадиевые урансодержащие, с отношением ванадия к урану, равным (20—40):1 (месторождения формации Энтрада); в) медно-урановые (месторождения формации Шайнарамп); г) собственно урановые (месторождения южной и западной периферии плато).

Первичные минералы преимущественно представлены урановой смолкой, коффинитом, монтрозеитом $[(VO)OH]$, реже — халькопиритом, борнитом, халькозином, а также второстепенными или редкими — пиритом, галенитом, сфалеритом, герсдорфитом, шмальтином, сферокобальтитом и др.; из нерудных иногда в незначительном количестве присутствуют карбонаты, барит, гипс, аллофан и др. Первичные рудные минералы обычно тонкозернистые и дают тесные сростания. В песчаниках они располагаются между зернами, в растительных остатках и аргиллитах развиваются метасоматически.

Зона окисления в месторождениях данного типа выражена весьма интенсивно и представлена большим разнообразием минералов. Широко распространены карнотит, тяюмунит, хьюэтит. Встречаются торбернит, фольбортит, циппеит, иоганнит, уранопилит, скудит, метацейнерит и др. Из вторичных ванадиевых минералов присутствует корвузит $V^{4+} \cdot V_6O_{17} \cdot n H_2O$.

Генезис оруденения. Представления об осадочном, сингенетическом происхождении руд месторождений плато Колорадо, нашедшие широкое отражение в литературе, в настоящее время отвергаются. Основанием для этого явились многочисленные определения абсолютного возраста урановой смолки, составляющего 60—70 млн. лет, т. е. примерно ларамийского, в то время как возраст вмещающих оруденение юрских — триасовых пород, соответствует примерно 130—180 млн. лет.

Не подтверждается также и гипотеза о гидротермальном происхождении руд (Эверхард, Мак-Келви, Гаррелс). Этому явно противоречит отсутствие связи оруденения с магматизмом и с разрывными нарушениями, отсутствие характерных около-

рудных изменений и приуроченность оруденения к строго определенным горизонтам и литофациям.

Более обосновано мнение об инфильтрационном происхождении руд. Оно подкрепляется представлениями о переносе урана грунтовыми потоками в условиях различной проницаемости пород (Гренер, Джубен, Суражский и др.); и данными о смене окислительной обстановки восстановительной, о чем можно судить по изменению окраски пород с красной на серую или зеленоватую (Райт, Миллер, Изаксен и др.). Однако и в этом случае авторы принимают в расчет, очевидно, только конечные стадии формирования месторождений, не учитывая процессы первичного накопления урана и при осадкообразовании на стадиях седиментогенеза и диагенеза.

Фактические данные более соответствуют представлению об осадочном происхождении месторождений, обусловленном проявлением стадий диагенеза, эпигенеза и гипергенеза. К группе осадочных рассмотренные месторождения относят А. Г. Бетехтин, Я. Д. Готман, В. И. Данчев и другие исследователи.

Месторождения в озерных и болотных отложениях

Эти месторождения имеют также важное и притом все более возрастающее значение.

В процессе формирования данных месторождений областями сноса материала явились либо более древние граниты, которыми нередко сложены окружающие депрессии массивы, либо перемежающиеся и перекрывающие осадочные толщи эффузивы, либо те и другие вместе. Осадки, которые выполняют депрессии, представлены фашиально изменчивыми, часто полого залегающими породами: песчаниками, аргиллитами, глинами, алевролитами, а также гравелитами и конгломератами. Ураноносными являются слои, в той или иной мере обогащенные органическим веществом, чаще всего углистым. Накопление осадков происходило преимущественно в озерах межгорных впадин и депрессий.

Одной из важнейших закономерностей рассматриваемых месторождений является несогласное залегание вмещающих их отложений на породах кристаллического фундамента, выступающих в районе депрессий, а также приуроченность оруденения к базальным или перекрывающим их слоям, обогащенным органическими остатками. Другой важной особенностью месторождений является приуроченность оруденения к краевым частям впадин и депрессий и слабо выдержанное его пространственное распределение. Уран обычно тесно связан с углистым веществом.

Рассматриваемые месторождения по времени образования являются преимущественно мезозойскими, хотя встречаются как более древние — в палеозойских отложениях, так и более молодые месторождения — в отложениях вплоть до четвертичных.

Оруденение, связанное с углистыми песчаниками, глинами гравелитами или конгломератами, часто представлено не од-

ним, а несколькими пластами, приуроченными к разным, иногда относительно выдержанным горизонтам. Мощность рудоносных пластов и линз изменяется от нескольких десятков сантиметров до 2—3 м, редко более. Содержание урана обычно составляет 0,5—0,1% и иногда выше. В некоторых случаях оруденение выражено отдельными скоплениями и гнездами, что, вероятно, связано с различной степенью проницаемости пород. Технология переработки руд обычно простая и дешевая. Руды используются в промышленности.

Месторождение Нингё-Тогё. Это месторождение находится в юго-западной части Японии. Оно приурочено к базальным конгломератам и перемежающимся с ними песчаникам и аргиллитам верхнемиоценового возраста.

Конгломераты с полуокатанной галькой гранитов и измененных вулканических пород в рыхлом песчаном цементе залегают непосредственно на пенепленизированной поверхности гранитов фундамента. Среди этих образований выделяются две формации осадочных пород: Нингё-Тогё — в западной части района, мощностью 2—4 м, Омбара — в восточной части, мощностью около 70 м. В обеих формациях отмечаются обильные остатки растительности. Взаимоотношения формаций неясны; выше них залегают породы формации Такасимидзу, представленные туфогенными образованиями и перекрывающими их андезитами.

Ураноносными являются базальные конгломераты формаций Нингё-Тогё и Омбара, развитые на площади около 20 км². Мощность рудных пластов достигает 2 м. Судя по органическим остаткам, накопление материала происходило в озерных условиях. Минерализация урана выражена отенитом и метаотенитом, выполняющими трещинки в конгломератах и в располагающихся выше них аргиллитах, а также урановой чернью. Некоторое количество урана было сорбировано минералами глин. Урановая чернь ассоциирует с пиритом, который замещает клетчатку ископаемой древесины. Среднее содержание урана составляет только 0,042%.

Месторождение является основной базой урановой промышленности Японии.

Месторождения Тейфельслох, Танненкирх и Шенцель. Эти месторождения расположены во Франции в области Вогез и представлены промышленными рудами описываемого типа (рис. 43, 44). По данным Карвелла, они приурочены к межгорным впадинам, выполненным верхнепалеозойскими отложениями.

На гранитном субстрате располагаются базальные аркозы, перекрытые глинистыми сланцами непостоянной мощности вестфальского возраста, выше сменяющиеся песчаниками пермотриаса мощностью 20—30 м. Мощность аркозов от нескольких до десятков метров; местами они угленосные. Сланцы состоят из различных прослоев, имеющих неоднородный состав. Среди

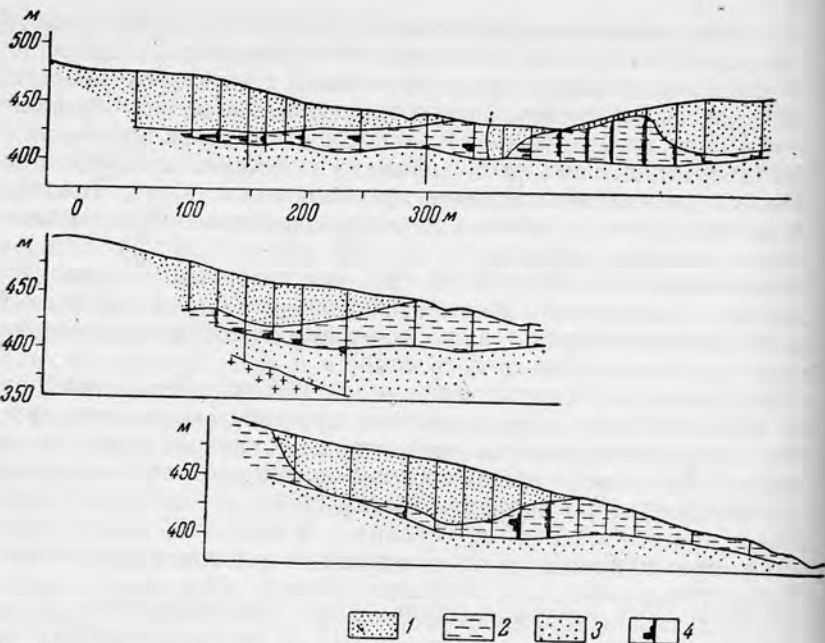


Рис. 43. Схематические геологические разрезы через осадочное месторождение Тейфельсх, Франция (по Карвелла)
 1 — песчаники; 2 — сланцы; 3 — аркозы; 4 — графики содержания урана

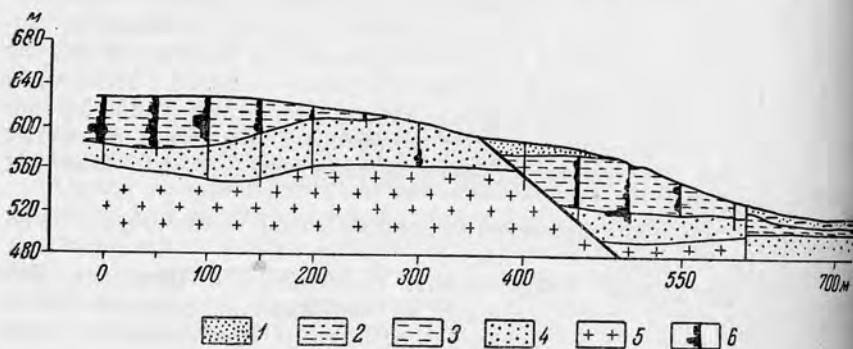


Рис. 44. Разрез через месторождение Шенцель (по Карвелла)
 1 — песчаники пермо-триасовые; 2 — глинистые песчаники; 3 — сланцы; 4 — аркозы; 5 — граниты; 6 — графики содержания урана

них часто выделяются песчанистые и аркозовые прослои; участками отмечаются желобообразные тела песчаников.

Урановая минерализация приурочена к сланцам. Наблюдающееся иногда оруденение в аркозах связано также со сланце-

выми прослоями. Сланцы содержат значительное количество органического материала в виде углистых остатков — спор, растительных волокон. Исследованиями установлена прямая зависимость содержания урана от количества органического материала в сланцах.

Залегание пород и ураноносных сланцев преимущественно горизонтальное или пологое до 25, реже 45° и лишь местами осложнено поперечными сбросами альпийского возраста.

Оруденение тесно связано со слоистостью, что подтверждается многочисленными радиографиями; иногда (в частности, в месторождении Шенцель) отмечено влияние сбросов. По мере удаления от них содержание урана падает. Такие явления хорошо объяснимы процессами перераспределения материала в стадии эпигенеза.

Урановое оруденение представлено карбураном. Никаких других различных минералов урана, кроме незначительных выделений у поверхности отенита, даже под микроскопом не обнаружено.

Содержание урана неравномерное и колеблется в широких пределах. В месторождении Тейфельслох прослежен пласт мощностью до 10 м с содержанием его до 0,2—0,3%; однако среднее содержание значительно меньше и составляет 0,07%. Технологические испытания показали, что уран легко извлекается.

В продуктивных пластах присутствуют также пирит, арсенопирит и в небольшом количестве — галенит и сфалерит. В более бедных ураном слоях значительное распространение имеет сидерит, иногда в ассоциации с халькопиритом.

Месторождения в каменных углях и лигнитах

Ураноносные бурые и каменные угли, лигниты, а также вмещающие их породы представляют самостоятельную группу осадочных месторождений. Месторождения этого типа имеют широкое распространение, встречаются в самых различных районах, и в последнее время приобретают все большее промышленное значение. В одних странах такие месторождения уже осваиваются, в других — интенсивно разведываются и изучается технология их руд, в третьих они выдвигаются как объекты для расширения производства урана (ФРГ, Франция и др.).

Присутствие урана установлено во многих угленосных толщах разного возраста как в палеозойских, так и в мезо-кайнозойских. Однако, как правило, палеозойские, особенно метаморфизованные антрацитовые угли характеризуются очень низким содержанием урана, порядка тысячных долей процента, или полным его отсутствием. Угли более позднего, мезозойского и третичного возрастов, характеризующиеся низкими марками, нередко несут повышенные, а иногда даже и высокие содержания урана. Например, полубитуминозные эоценовые угли рай-

она Суитутер в штате Вайоминг содержат уран в количестве от 0,001 до 0,05%; среднее содержание его 0,003%. Содержание урана в меловых углях района Сендовел в штате Нью-Мексико достигает местами 0,1%. Еще более высокое содержание урана установлено в лигнитах на обширных площадях палеоценовой формации Форт-Юнион (рис. 45) в северо-западной части штата Южная Дакота. Здесь наряду со слабоураноносными лигнитами выделяются пачки лигнита мощностью до 45 см, где содержания урана достигают целых процентов. Наличие урана

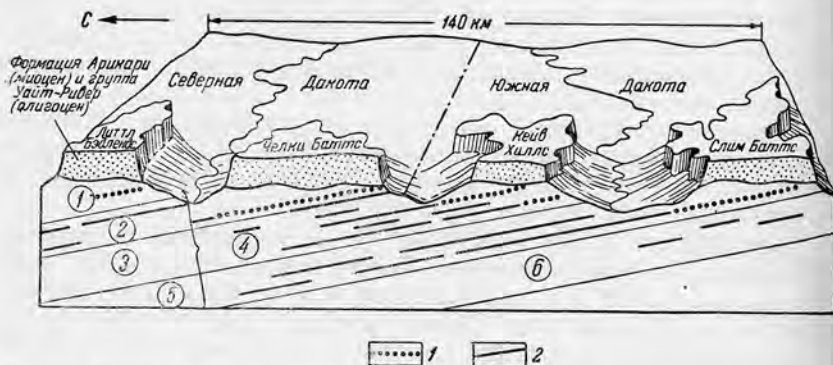


Рис. 45. Блок-диаграмма районов северо-запада Южной Дакоты и юго-запада Северной Дакоты, показывающая распределение ураноносных лигнитов (по Дексону и Гиллу)

1 — ураноносные лигниты; 2 — не содержащие урана лигниты; цифрами на рисунке показаны: 1 — формация Голден Валлей (эоцен); 2 — сланцы Сентинел Батт; 3 — слои Тончю Ривер; 4 — формация Форт Юнион (палеоцен); 5 — слои Лудлу; 6 — формация Хелл Крик (верхний мел)

в углях, местами с довольно высоким содержанием, обнаружено в Уорвикшайре в Англии. В Западной Германии разведано месторождение лигнитов Ваккерсдорф с содержанием урана 0,03—0,04%.

Не все угольные пласты угленосных толщ содержат уран. Часто при значительной общей мощности урансодержащих пород ураноносными являются только некоторые пласты. Например, в формации Уосач эоценового возраста (Южная и Северная Дакота, США), имеющей общую мощность до 360 м, мощность угленосных пластов составляет 35 м, а ураноносными являются только верхние пласты, залегающие непосредственно под несогласно располагающимися на них вулканогенными породами.

П. Ф. Керр указывает, что в верхней части пачки пластов месторождения Крестон Рендж (США) содержание урана составляет 0,051%, а в углях в 6 м ниже — менее 0,001%. При этом отмечается связь повышенных содержаний урана с повышенной проницаемостью перекрывающих угли пород и с малой проницаемостью подстилающих пород.

Другой важной закономерностью распределения урана в углях является приуроченность оруденения к маломощным пластам (30—40 см) и приконтактовым частям более мощных пластов.

В дислоцированных участках угленосных отложений повышенная ураноносность отмечается в местах перегибов и крутого падения пластов (рис. 46). При этом нередко более обогащены краевые части пластов, в то время как в средних их частях содержание металла низкое.

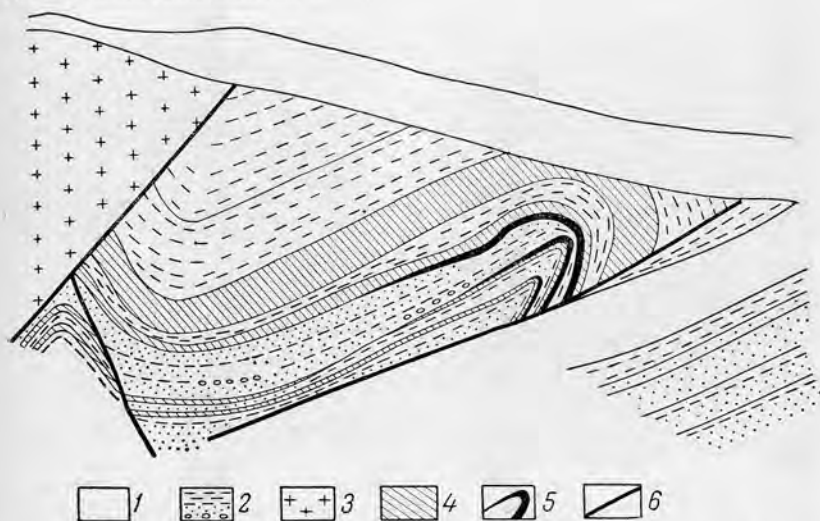


Рис. 46. Ураноносные угли в участках перегибов пластов (по З. А. Некрасовой)

1 — четвертичные отложения; 2 — юрские песчано-глинистые отложения; 3 — граниты; 4 — пласты угля; 5 — рудные залежи; 6 — тектонические нарушения

Оруденение в одних и тех же пластах распределяется обычно неравномерно, с перерывами как по простиранию, так и по падению пластов. В угольных пластах нередко выделяются рудные урансодержащие полосы или линзы. Какой-либо связи обогащенных ураном участков с определенными петрографическими разновидностями углей обычно не наблюдается. Следует отметить, что оруденение иногда встречается и во вмещающих угли породах — углистых сланцах, песчано-глинистых породах и песчаниках как подстилающих, так и перекрывающих, а также в участках выклинивания угольных пластов. В некоторых случаях концентрация урана приурочена к пластам, обогащенным пиритом, что указывает на существовавшие восстановительные условия в период его отложения.

Предполагают, что главная масса урана в неокисленных месторождениях связана с органическим веществом (рис. 47). В углях некоторых месторождений иногда присутствует урано-

вая смолка. В обычных случаях при содержании урана, не превышающем 0,1%, урановые минералы не различаются. При более высоких его содержаниях в поверхностных выходах часто наблюдаются следующие минералы: шрекингерит, карнотит, тьюмунит, отенит, водные карбонаты урана и кальция, а иногда также метациейнерит, торбернит и коффинит.

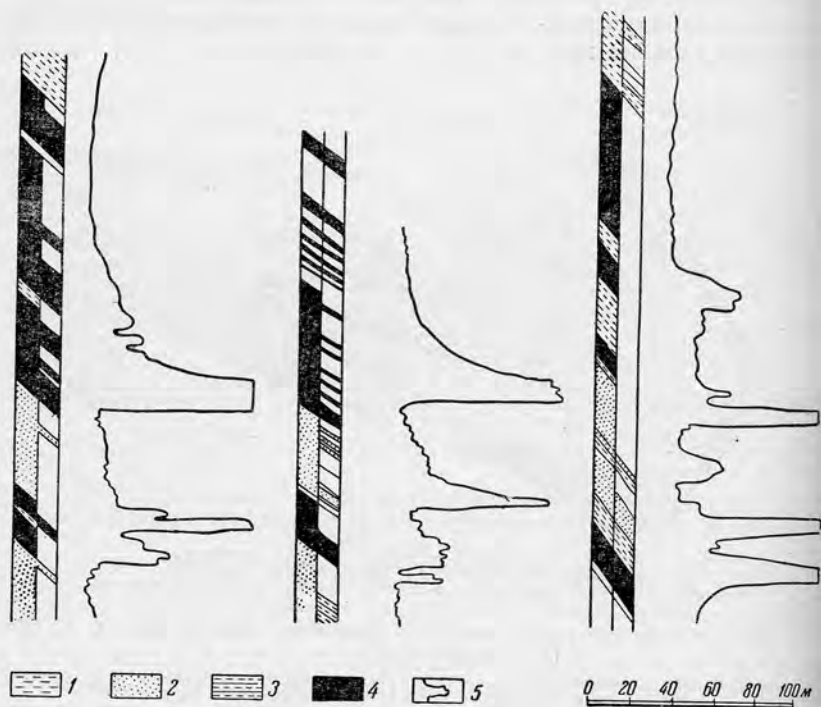


Рис. 47. Разрезы скважин с кривыми активности в месторождениях ураноносных углей (по З. А. Некрасовой)
1 — глины; 2 — песчаники; 3 — углистые алевролиты; 4 — угли; 5 — кривые радиоактивности

З. А. Некрасова описала различные выделения и прожилки урановой смолки в углях и песчаниках (рис. 48).

Местами вместе с ураном в углях присутствует молибден в количестве до 0,1%, как правило, не дающий индивидуализированных соединений. В незначительном количестве в месторождениях такого типа обычно присутствуют ванадий, германий, галлий, железо, свинец и редкие земли.

Проблема генезиса уранового оруденения в углях обсуждается довольно широко. В нее включены также вопросы о происхождении асфальтитов и тухолитов, что явилось предметом недавней дискуссии между Ч. Девидсоном и Д. Гренером.

П. Керр, Н. Денсон, Джилл и другие исследователи полагают, что уран был привнесен водами и сорбирован органическим веществом. Источниками урана могли быть лежащие выше туфогенные породы Южной и Северной Дакоты, рассеянная минерализация в гранитах (З. Некрасова, Ш. Салай). Отдельные авторы допускают привнос урана гидротермальными растворами. Экспериментально доказано, что угли и особенно лигниты являются хорошими сорбентами урана. Некоторые исследователи полагают, что уран привносится в торфяники в виде уранилкар-

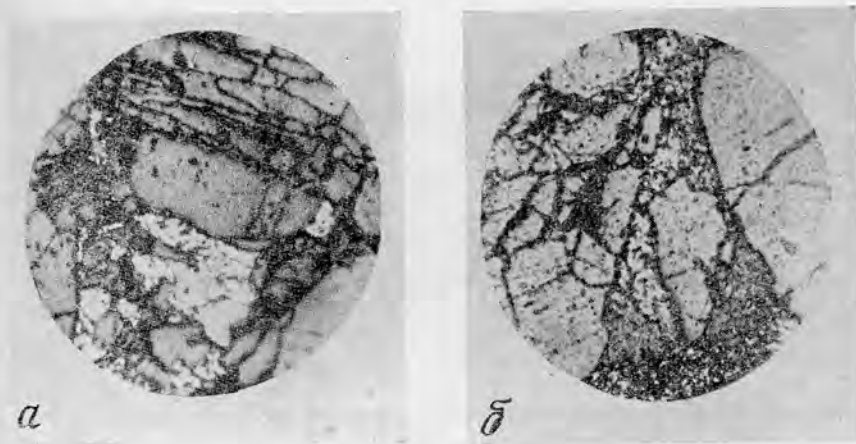


Рис. 48. Характер урановой минерализации в углях (по З. А. Некрасовой)
а — смолка (белое) цементирует зерна кварца в песчанике; $\times 270$. *б* — смолка (светло-серое) корродирует пирит; $\times 180$

бонатного комплекса, распадающегося вследствие резкого понижения рН растворов в связи с развитием гуминовых кислот.

Е. В. Рожкова и ее сотрудники, проводившие изучение поглощающей способности различных типов углей, установили, что сорбция урана возрастает с увеличением удельной поверхности органических веществ. В частности, сорбционная способность бурого угля после удаления из него гуминовой кислоты и увеличения в связи с этим поглощающей поверхности повысилась почти вдвое. Поэтому сорбция урана бурым углем при отсутствии гуминовой кислоты происходит еще интенсивнее.

С. М. Манская, Т. В. Дроздова и Е. П. Емельянова установили, что уран связывается гуминовыми кислотами. Д. Вайк, В. Свенсон и К. Белл подтвердили этот вывод. По их мнению, образующиеся гумматы уранила осаждались с понижением рН и увеличением концентрации двухвалентных катионов.

На одном из месторождений данного типа урановое оруденение приурочено к плчстам угленосных свит юрского возраста.

Оно наблюдается также в приконтактных частях перемежающихся пластов углей, глин и песчаников (рис. 49).

Рудоносны не все пласты угля. Залегание пластов нарушенное, в связи с чем некоторые из них выклиниваются в виде линз. Мощность рудных пластов различная: от 3 до 30 м.

Минерализация в одних пластах распределена более или менее равномерно и достигает значительной глубины порядка 400 м, в других приурочена к сравнительно узкой полосе в участках уменьшенных мощностей и распространяется на глубину только до 20—30 м. Содержание металла весьма изменчиво: от сотых

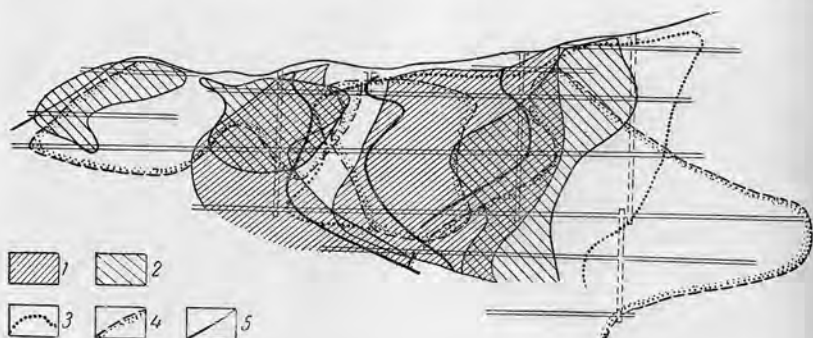


Рис. 49. Профиль совмещенных рудных залежей (по З. А. Некрасовой)
1—4 — контуры рудных залежей: 1 — по пласту № 5, 2 — по пласту № 5а, 3 — по рудоносным песчаникам, 4 — по нижним частям пласта № 6; 5 — линии тектонических нарушений

долей до целого процента. При этом более богатое оруденение приурочено к резкому уменьшению мощностей пластов (до 15—20 см) в верхних их частях, ниже по падению содержание металла резко убывает и глубже 30 м составляет тысячные доли процента. По простиранию и по мощности содержание урана тоже неравномерно. В одних случаях более обогащенной является кровля пластов; в других — почва; в третьих — минерализация относительно равномерна по всей мощности. Кроме урана, в углях, как правило, присутствует молибден в количестве до 0,2%. Оруденение представлено урановой смолкой, чернью, шрекингеритом, уранофаном и тюямунитом. Смолка распределена в виде мелких скоплений, нередко располагающихся вокруг пиритовых конкреций; урановая чернь образует налеты. Шрекингерит встречается реже и ассоциирует с гипсом и кальцитом, образуя иногда значительные скопления. Уранофан и тюямунит имеют ограниченное распространение. Уранофан иногда образует скопления с шрекингеритом и кальцитом.

По мнению исследователей, оруденение является сингенетическим, но осложненным инфильтрационными процессами, действовавшими в условиях развития зоны окисления.

Месторождения Южной и Северной Дакоты. Эти месторождения находятся в северо-западной части штата Южная Дакота и в юго-западной части штата Северная Дакота, вблизи границы со штатом Монтана, в 160 км от г. Блек Хиллс в США.

Ураноносные лигниты залегают в речных отложениях палеоценового или верхнемелового возраста у подножия плоских холмов на площади около 26 тыс. га. Мощность толщи речных отложений, содержащих лигниты, 600 м. Выше на этой толще несогласно залегают толща слабо активных туфов и бентонитов олигоцена и миоцена мощностью около 75 м. Залегание лигнитовой толщи почти горизонтальное с очень пологим падением на северо-восток. Пласты лигнита мощностью от нескольких сантиметров до 7 м прослеживаются на многие километры.

Самые крупные месторождения расположены в районах Слим Баттс и Кей Хиллс в Южной Дакоте и в районах Амидон и Белфилдс в Северной Дакоте. Наиболее оруденелыми являются пласты, залегающие вблизи поверхности несогласия; содержание урана в них колеблется от 0,05 до 0,02%, а в золе после сжигания достигает 0,05—0,1%. При низких содержаниях урановая минерализация обычно не заметна, но на отдельных участках выделяются лигниты с видимой урановой минерализацией, представленной отенитом и метацейнеритом.

Оруденение в общем весьма неравномерное: безрудные лигниты сменяются рудными, иногда с высоким (до целых процентов) содержанием урана.

В результате разведочных работ последних лет на месторождениях околонури площади со средним содержанием урана 0,13—0,20% при средней мощности ураноносных пластов 22—25 см. Разведанные запасы таких руд составляют 700 тыс. т; геологические запасы оцениваются в 3—5 млн. т.

Месторождения Ред Дезерт, Свитуотер, Вайоминг. Эти месторождения расположены вблизи городов Лост-Крик и Вамсуотер и отличаются от месторождений в штатах Южная и Северная Дакоты характером оруденения.

Район месторождений сложен отложениями эоцена и олигоцена, перекрытыми четвертичными образованиями. Толща эоцена представлена переслаивающимися песчаниками, аргиллитами, лигнитами и сланцами и расчленяется на формации: Уосач, Грин-Ривер, Бриджер и Континенталь Пик. Олигоценовая толща выражена сланцами формации Чадрон.

Месторождение Ред Дезерт представлено тремя пластами лигнита, входящими в состав формации Уосач эоценового возраста. Мощность каждого пласта составляет около 3 м; мощность разделяющих их песчаников и аргиллитов 15—25 м. Содержание урана низкое — от 0,002 до 0,027% (рис. 50). В золе оно повышается до 0,022%.

В участке Лост-Крик оруденение имеет иной характер. Участок расположен к северу от выходов ураносодержащих лигнитов,

залегających на глубине около 100 м. Оруденение представлено шрекингеритсодержащими породами, сложенными окатанными зернами кварца и полевого шпата. По содержанию урана оно богаче месторождения Ред Дезерт. Шрекингерит ассоциирует с минералами глин, гипсом, арагонитом и опалом. Скопления шрекингерита встречаются ниже уровня грунтовых вод и приурочены к пяти пластам тонкозернистых песчаников, сланцев, аргиллитов и алевролитов. Расположены они вблизи сброса Циклон Рим. Рудоносные пласты имеют северо-западное простирание и северо-восточное падение под углом 20°. Размеры рудных тел составляют по простиранию около 100 м, по падению около 10 м, мощность их не превышает 35 см. Содержание урана в таких телах 0,01—0,3%.

Предполагают, что образование месторождения связано с деятельностью грунтовых вод; источником урана являются урансодержащие лигниты.

Месторождения в породах, обогащенных асфальтовым веществом

Известно, что уран нередко присутствует в различных породах, обогащенных асфальтовым веществом. Породами, содержащими асфальтовое вещество, являются песчаники, аркозы, туфы, известняки, диатомиты и др. Присутствие урана в асфальтитах установлено во многих пунктах различных штатов США, а также в ряде других стран.

Содержание урана в золе, экстрагированного из асфальта битума, по данным П. Ф. Керра, колеблется в пределах от 0,028 до 0,376%. Химические анализы показали, что уран находится в асфальтите в виде уранорганического комплекса. В ряде проявлений уран содержится в образованиях, похожих на тухолит, карбуран или гуминит. В некоторых случаях в желваковых образованиях ураноносного асфальтита было установлено присутствие уранинита, коффинита и торита; примером этого является месторождение Пенхэндл Филд в Техасе. В таких образованиях иногда отмечают повышенные содержания радия, а также радон и гелий.

Присутствие асфальтового вещества далеко не всегда означает наличие урана. Иногда уран содержит только некоторые разновидности асфальтита, в то время как другие лишены его. Например, в месторождении Кэликс на плато Колорадо уран содержится в полустекловатом асфальтите, не дающем пламени, а в горячем и жидком асфальтите он отсутствует. В урано-ванадиевых рудах месторождения Темпл Маунтейн на плато Колорадо, связанных с асфальтитами, по данным Стиффа и Стерна, главным урановым минералом является коффинит.

Я. В. Изаксен считает, что месторождения, связанные с асфальтитами, имели сначала смолково-монтрозенитовый состав; жидкие углеводы поступали позднее и под влиянием альфа-излу-

чения полимеризовались и замещали урановую смолку. Подобное мнение подтверждается также Девидсоном, Эриксоном, Мейером, Хорром и другими исследователями.

О происхождении руд месторождений рассматриваемого типа существуют и иные мнения. Брегер, Дьюл и другие исследователи считают, что уран, обнаруженный в виде уранорганических комплексов, привносился жидкими углеводородами.

Д. В. Гренер полагает, что миграция нефти должна была приводить скорее к рассеиванию, чем к концентрации урана. Поэтому привнос и отложение урана связаны не с нефтями, а с водами, вытеснявшими нефть и вместе с тем выщелачивавшими и переносившими уран при прохождении их через пески. При этом, по его представлениям, черные пленки вокруг зерен в песках, распространенные иногда на очень больших площадях, оказывали большое влияние на омывавшие их растворы и приводили к выпадению нерастворимых урановых соединений типа коффинита.

Д. В. Гренер полагает также, что через разные участки пород проходили различные количества воды. Подобно исследователям Геологического управления США, он считает, что асфальтиты месторождения Темпл Маунтейн имеют растительное происхождение. Представлению об образовании асфальтитов и тухолитов путем полимеризации, по их мнению, противоречит то, что этот процесс должен протекать постепенно, в связи с чем должны наблюдаться переходы от жидкости через более концентрированные образования до возникновения асфальтитов и тухолитов. В действительности, таких явлений в природе не наблюдается. Д. В. Гренер считает, что асфальтиты правильнее называть битуминитами.

По мнению П. Ф. Керра, асфальтит локализовался в породах горных пород в присутствии нефти или нефти и воды, что вызвало концентрацию урана в виде рассеянных точечных выделений.

Значение данного типа месторождений сильно возросло после недавнего открытия очень крупного месторождения Амброзия Лейк, к описанию которого мы сейчас перейдем. Кроме него, в штате Вайоминг открыты крупные месторождения сходного типа — Гес-Хиллс и Крукс-Гэп.

Месторождение Амброзия Лейк. Это месторождение расположено на плато Колорадо по соседству с месторождением Грейтс Лагуна в штате Нью-Мексико и в свете последних данных характеризуется очень крупным масштабом оруденения. Будучи открыто в 1955 г., месторождение интенсивно разведывалось, и в 1957 г., по данным Р. Зиттинга, запасы его оценивались уже в 115 тыс. *t* металла, из которых разведанные составляли около 85 тыс. *t*.

Месторождение находится в северо-восточной части известного поднятия Зуни в структурном блоке Хейстек-Бьютт. Этот

район (рис. 51) сложен мезозойскими отложениями, среди которых широкое распространение имеет формация Моррисон верхнеюрского возраста. В структурном отношении район месторождения представляет моноклираль, в пределах которой выделяется пять пологих антиклинальных складок, разбитых крутыми сбросами. Некоторые из этих складок имеют характер куполов, например купола Гей, Игл, Саус, Амброзия. Возраст нарушений

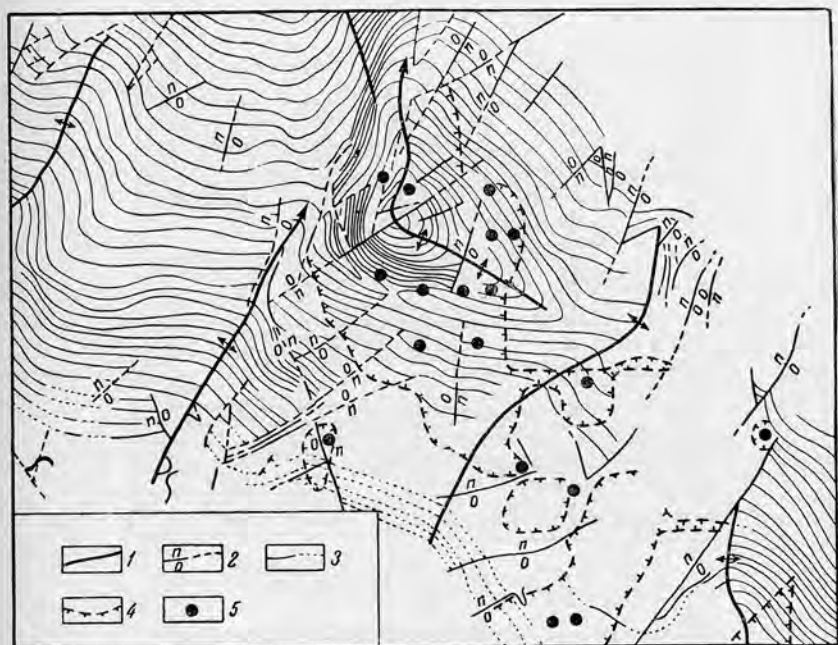


Рис. 51. Схематическая структурная карта района Амброзия Лейк, США (по Зиттингу)

1 — выход кровли песчаников Дакота; 2 — крыло: п — поднятое, о — опущенное; 3 — изогипсы кровли песчаников Дакота; 4 — контуры осветленных пород; 5 — рудные образования

ларамийский, что установлено по дислоцированности меловых отложений. Рудные тела сгруппированы вокруг купола Амброзия.

Геологический разрез района представлен (снизу вверх) на рис. 52.

Горизонт Рикепчер выражен перемежающимися сланцами, аргиллитами и слабо сцементированными песчаниками преимущественно красного цвета, общей мощностью в среднем около 50 м; он подстилает рудоносные слои. Породы этого горизонта выше постепенно сменяют отложения горизонта Вестуотер, известного также под названием Пойсон Каньон. Они представлены аркозовыми слабо сцементированными песчаниками с ред-

кими прослоями и линзами конгломератов, с косо́й слоистостью; среди пород горизонта выделяются более крупнозернистые разновидности песчаника, состоящего из полукатанных зерен кварца, полевого шпата, яшмы, аргиллита, гранита и халцедона, а также гематита и пирита. Мощность горизонта меняется от 30 до 150 м. В верхней части рудоносного горизонта песчаники клинообразно перемежаются с бентонитовыми сланцами пере-

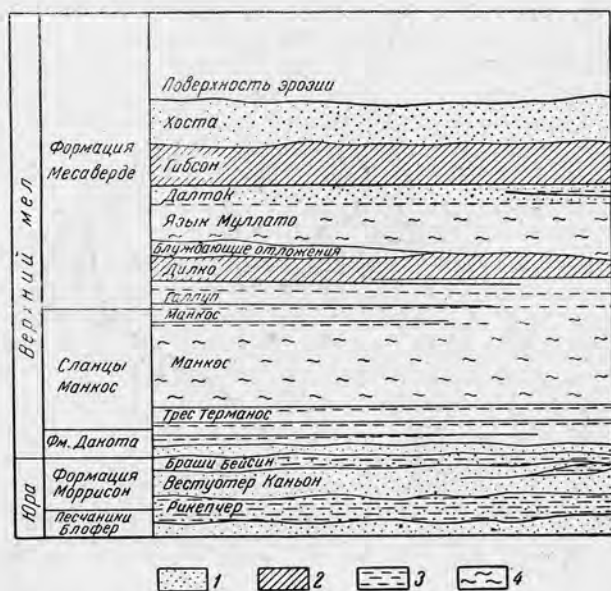


Рис. 52. Общий стратиграфический разрез района месторождения Амброзия Лейк (по Зиттингу)

1 — песчаники; 2 — угленосные отложения; 3 — безрудные песчаники; 4 — морские сланцы

крывающего горизонта Браши Бейсин, представленного сланцами с линзами песчаников и алевритов; цвет пород пестрый: зеленый, красный, серый и белый. Мощность горизонта 20—53 м.

Описанные породы в целом составляют верхнюю часть формации Моррисон. На эту формацию несогласно налегают песчаники верхнего мела, перемежающиеся с углями и карбонатными сланцами (формация Дакота), общей мощностью 26 м. Выше они согласно перекрываются более мощной (свыше 500 м) толщей формации Манкос, представленной морскими меловыми сланцами и песчаниками темного цвета.

Месторождение Амброзия Лейк сложено пластообразными залежами, приуроченными к крупнозернистым слоям серых песчаников горизонта Вестуотер. Цементом песчаников является

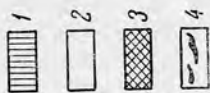
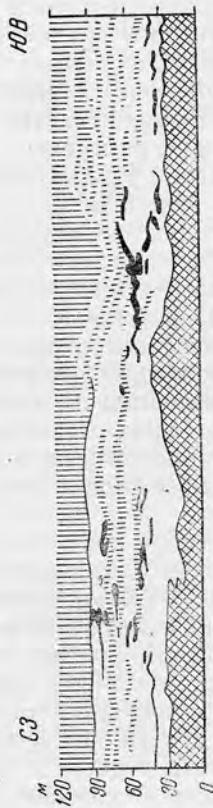
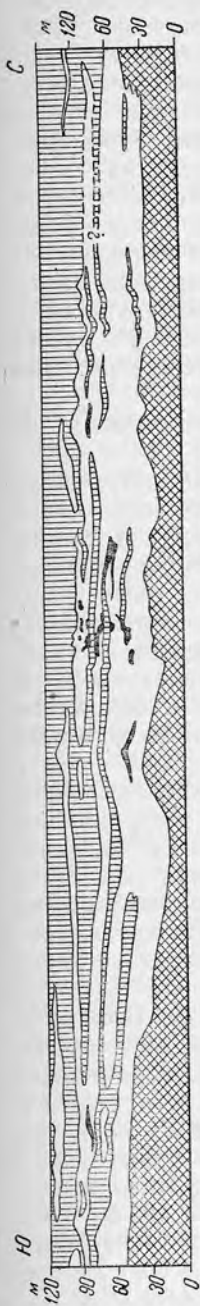


Рис. 53. Детализированный разрез участка месторождения Амброзия Лейк, показывающий отношение урановых месторождений к стратиграфическим горизонтам и к куполу Амброзия (по Хильберту)
 1 — породы горизонта Браши Бейсин, 2 — породы горизонта Вестуотер, 3 — породы горизонта Рикелцер, 4 — рудные тела

асфальтовое вещество вместе с глинистым и карбонатным материалом. Оруденение тесно ассоциирует с асфальтовым веществом. Мощность залежей и интенсивность оруденения находятся в прямой зависимости от количества асфальтового вещества в песчанике. Асфальтит, проникая по трещинам породы, замещает зерна детритуса и особенно полевой шпат. Поскольку асфальтовое вещество является продуктом окисления нефти и на его распределение большое влияние оказывает структура, представленная куполовидной антиклиналью Амброзия Лейк, последняя определенным образом влияет также и на распределение уранового оруденения. Лишь в немногих участках оруденение несколько выходит за пределы распространения песчаников Вестуотер, захватывая породы горизонтов Рикепчер и Браши Бейсин. Дизъюнктивные нарушения типа сбросов отношения к оруденению не имеют.

Положение рудных тел показано на разрезах по данным Гейбельмана (рис. 53).

В пределах песчаников Вестуотер оруденение встречается в нескольких пластах. На распространение оруденения, кроме асфальтового вещества, оказывают некоторое влияние состав, размеры и форма зерен песчаника, степень их сортировки, а также степень проницаемости пород. Песчаники рудных участков имеют темно-бурый или серый цвет. Это обусловлено, с одной стороны, наличием пленок асфальтового вещества, обволакивающего зерна песчаника, с другой, — восстановительными условиями, при которых, по-видимому, имело место и отложение урана. Рудные тела контролируются положительными формами рельефа.

Рудное поле протягивается в виде асфальтитоносной полосы восточного, совпадающего с простиранием пород, направления. Длина ее составляет около 15 км, ширина — около 1,5 км. Мощность рудной зоны колеблется от 0,3 до 30 м, средняя 3,3 м. Глубина залегания рудных тел от поверхности 100—400 м. Уран связан с присутствием коффинита $USiO_4(OH)_4$? Из других минералов обычно присутствует пирит. Гейбельман отмечает присутствие и других сульфидов.

Образование пирита вызвано воздействием H_2S . При этом одновременно с осаждением урана образуется не весь пирит. Д. Нокс полагает, что большая часть пирита образуется до осаждения урана, поскольку подобный ранний пирит встречается и в других нерудоносных песчаниках. Д. В. Гренер указывает, что чем больше имеется пирита, тем выше содержание урана.

Количество кальцита в рудах изменяется в широких пределах. Некоторая часть его была отложена сингенетично, другая, находящаяся в цементе, по мнению Д. В. Гренера, — осаждена из урансодержащих бикарбонатных растворов. Присутствие каолинита, как показывают наблюдения того же автора, не может рассматриваться как гипогенное изменение пород, поскольку

этот минерал встречается далеко за пределами рудного района.

Полоса урановых месторождений занимает секущее положение по отношению к крылу антиклинали Амброзия Лейк, что Р. Зиттинг, Мастерс и Грот объясняют миграцией нефти в связи с понижением уровня грунтовых вод в результате эрозии области их питания. Направление миграции нефти совпало с близкой ориентировкой фациальных зон, что объясняется повышенной пористостью и проницаемостью пород.

Названные авторы связывают образование месторождения с действием реликтовых вод. Эти воды выщелачивали уран из пород, располагавшихся к юго-западу от месторождения, и затем отлагали его. Оруденение формировалось в третичное время после ларамийских движений и превращения остатков нефти в асфальтовое вещество.

Среднее содержание урана в рудах Амброзия Лейк составляет около 0,2%. В настоящее время в районе месторождения заключено 72% всех запасов урана США. Здесь строится несколько обогатительных фабрик суммарной производительностью около 7 тыс. *t* руды в сутки. На месторождении за полтора года было пробурено более 1 млн. *m* скважин.

Некоторые обобщения по месторождениям урана в речных, озерных и болотных отложениях и их поисковые признаки

1. Месторождения урана в континентальных образованиях имеют в ряде районов очень широкое распространение и важное промышленное значение. Наряду с бедными месторождениями в них встречаются и относительно богатые, по содержанию урана мало отличающиеся от гидротермальных месторождений.

2. Наиболее крупные промышленные месторождения связаны с типичными речными и потоковыми фациями, характеризующимися косой слоистостью пород, перемежаемостью слоев разного состава, невыдержанностью пластов и горизонтов, а также грубой зернистостью и нередко плохой сортировкой материала.

3. Образование месторождений тесно связано с присутствием органического вещества. Породы, обогащенные растительными остатками, а также асфальтовым веществом, обычно более ураноносны. Широко распространена также ураноносность каменных углей и лигнитов.

4. В отдельных формациях, особенно в тех, которые занимают в толщах речных отложений базальное положение, в локализации оруденения большое значение имеют древние погребенные русла. Они также являются хорошим поисковым признаком месторождений урана рассмотренного типа. В пределах древних русел рудные тела образуют целые группы и скопления, контролируемые слиянием русел, их изгибами, неровностями дна и наличием в руслах растительных остатков.

5. Среди толщ континентального происхождения ураноносность связана только с теми горизонтами пород, которые характеризуются: повышенным содержанием органических соединений или асфальтового вещества, присутствием песчаников, переслаиванием их с аргиллитами и повышенной проницаемостью. Золотые фации, озёрные известняки и морские отложения в областях развития таких толщ менее благоприятны для локализации оруденения урана.

6. К асфальтитовым песчаникам в пределах толщ континентального происхождения в некоторых случаях приурочены очень крупные урановые месторождения. Условия локализации оруденения и генезис их изучены недостаточно. Вместе с тем факт приуроченности таких месторождений к асфальтитам или асфальтизированным породам показывает, что последние могут рассматриваться в сочетании с другими факторами как важный поисковый признак.

7. Из ураносодержащих каменных углей и лигнитов более надёжными являются месторождения мезо-кайнозойского возраста, характеризующиеся неметаморфизованными углями низких марок и лигнитами. Угли метаморфизованные, например антрациты, промышленной ураноносности не несут. Относительно повышенным содержанием урана характеризуются сравнительно тонкие пласты или краевые части более мощных пластов, а также пласты с крутым падением, повышенной пористостью и трещиноватостью.

8. Среди месторождений, формирующихся в континентальных отложениях, широкое распространение и важное промышленное значение имеют те, которые приурочены к озёрным отложениям, залегающим в краевых частях межгорных впадин и депрессий, если последние приурочены к кристаллическим породам докембрия либо палеозоя, содержащим уран в подвижной форме.

9. Основными поисковыми признаками месторождений данной подгруппы и отдельных ее типов являются следующие:

а) платформенные, в частности, речные отложения, характеризующиеся проявлением радиоактивности;

б) потоковые речные фации, обогащенные органическими остатками;

в) горизонты перемежающихся красноцветных песчаников и аргиллитов и особенно участки изменения их окраски с красной на серую или зеленоватую;

г) древние русла;

д) асфальтитовые породы и особенно асфальтизированные песчаники;

е) краевые части межгорных впадин и депрессий с озёрными отложениями, обогащенными органическим материалом;

ж) неметаморфизованные каменные угли и лигниты, распространенные вблизи более древних гранитных массивов или вулканогенных образований с повышенной радиоактивностью; последние могли явиться источником накопления урана.

Подгруппа 2. Россыпные месторождения — прибрежно-морские, дельтовые и дюнные россыпи

Россыпные урановые месторождения, образованные в результате механического переноса и осаждения урансодержащих минералов, устойчивых к химическому выветриванию, имеют широкое распространение. В частности, урансодержащие монацитовые россыпи широко развиты в Индии, на Цейлоне, в Австралии, Бразилии, США и в других странах. Среди них главное значение имеют знаменитые прибрежно-морские монацитовые россыпи Индии, из которых уран получается попутно при добыче тория и редких земель. В других странах уран из россыпей пока не добывается.

Таким образом, главной особенностью руд рассматриваемого типа урановых месторождений является наличие в них монацита или джалмаита, содержащих уран. Монацитовые концентраты из россыпей данного типа получают простым и дешевым способом и используют комплексно для извлечения тория, редких земель и урана. В связи с простотой обработки оказалось возможным осваивать россыпи с низким содержанием монацита. Другой характерной особенностью рассматриваемых месторождений является их накопление в настоящее время. После обработки эти месторождения могут вновь возобновляться в связи с продолжающимся быстрым накоплением материала в зоне приобья.

Монацитовые урансодержащие россыпи имеют важное промышленное значение, так как являются одним из главных источников получения тория и редких земель. Ежегодно из них добывается около 7 тыс. т монацита, что составляет 17% общей добычи в капиталистических странах. Уран из монацитовых концентратов при повышенном его содержании в монаците добывается преимущественно в странах, не имеющих более богатых урановых месторождений других типов. Такими странами являются Индия и отчасти Бразилия. Индия, которая широко использует монацитовые россыпи, перспективы своей молодой урановой промышленности еще недавно связывала именно с данным типом месторождений.

Монацитовые урансодержащие россыпи принадлежат к трем основным типам: прибрежно-морским (береговым), дельтовым и дюнным. Основное значение имеет первый тип. Прибрежно-морские россыпи монацита и других сопровождающих его тяжелых минералов образуются главным образом в условиях тропического климата в районах, сложенных монацитосными гранитами и связанными с ними пегматитами, гнейсами и мигматитами.

тами. При латеритном выветривании таких пород происходит интенсивное их разрушение с последующей концентрацией тяжелых устойчивых минералов. Образованию россыпей способствует широко разветвленная и многоводная речная сеть с молодыми узкими и короткими долинами, по которым к морю выносятся водами огромное количество разрушенного выветриванием материала.

В большинстве случаев наиболее крупные и богатые прибрежно-морские россыпи располагаются непосредственно у устьев рек или вблизи них. По данным В. Махадевана, такие россыпи нередко находят на расстоянии до 0,8 км от современного берега моря. В результате морского прилива, главным образом в течение периода муссонов, происходит сортировка выносимого материала: мелкая галька и пески с низким удельным весом уносятся волнами в море, более крупная галька и пески с большим удельным весом концентрируются у берега. Таким образом происходит накопление монацитоносных песков вместе с другими тяжелыми минералами. При этом больше всего богатых песков накапливается в береговой полосе между линиями прилива и отлива или в зоне прилива. Глубина таких россыпей в Индии, по данным Гхота, достигает 7,5 м.

Ф. А. Щербаков на основании изучения песков Баренцева моря отмечает, что повышенные содержания тяжелых минералов наблюдаются на размываемых участках аккумулятивных кос и в краевых частях изгибающихся в сторону суши баров, что объясняется выносом легких частей пород струями течений на глубину.

Прибрежно-морские россыпи обычно имеют характерную форму в виде узких, очень длинных полос, протягивающихся на десятки, а иногда и сотни километров вдоль современных пляжей. Длина, например, береговых россыпей Траванкура и Андхра достигает 260 км. Мощность продуктивного слоя обычно небольшая — до 1 м.

Россыпи данного типа характеризуются следующими чертами:

- 1) высокой концентрацией минералов тяжелых фракций, достигающей 80% от общей массы;
- 2) большой окатанностью и малыми размерами зерен, редко превышающими 0,3 мм;
- 3) чередованием слоев продуктивных и непродуктивных песков;
- 4) выходами слоев продуктивных песков на поверхность или перекрытием их маломощным слоем безрудных (пустых) песков мощностью 0,5—1,25 м;
- 5) постепенным выклиниванием россыпей в сторону моря.

Встречаются также монацитовые россыпи иного типа, приуроченные к более древним пляжным террасам, песчаным барам и дельтам рек, — это дельтовые россыпи. Нередко дельтовые россыпи непосредственно примыкают к прибрежно-морским. Иногда

с ними бывают связаны дюнные россыпи. Последние образуются там, где преобладают ветры с моря, действие которых и обуславливает сортировку материала. Содержание монацита и других минералов тяжелых фракций в таких россыпях обычно ниже, чем в россыпях прибрежно-морского типа. Однако разработка некоторых из них иногда проще и дешевле. Значительное развитие подобные россыпи имеют в Австралии.

В качестве примера месторождений данного типа приведем монацитовые россыпи Индии.

Россыпи Траванкур-Кочин и Андхра. Монацитовые россыпи Индии известны во многих местах западного и восточного побережий, но основные из них расположены в штатах Траванкур-Кочин и Андхра. Монацит совместно с ильменитом, рутилом и цирконом добывается в настоящее время только из россыпей штата Траванкур-Кочин. Этот район сложен архейскими гнейсами, чарнокитами, мигматитами и широко развитыми легматитами гранитного состава. Непосредственно у побережья на архейских породах отдельными участками залегают верхнетретичные песчаники, образовавшиеся в результате размыва коры выветривания архейских пород.

Большинство россыпей приурочено к современным пляжам, дельтам рек и дюнам. Меньшее распространение имеют россыпи, связанные с возвышающимися баррами; содержание урана в них богаче, а размеры россыпей больше. Размывая латеритную кору выветривания архейских пород и верхнетретичные песчаники, реки выносят на побережье моря огромное количество материала. Этот материал скапливается в виде возвышающихся баров, эрозии которых препятствуют гряды скал, протягивающиеся в море вдоль берега на некотором удалении от него.

Состав песков, слагающих прибрежно-морские россыпи штата Траванкур-Кочин, непостоянен и меняется по сезонам года. В период летних муссонов волны уносят минералы легкой фракции, обогащая пески, которые приобретают черную окраску и содержат 46—95% тяжелых минералов. В марте—апреле поверхность россыпей покрывается слоем белого кварцевого песка, что заметно снижает содержание полезных минералов тяжелой фракции в верхней части россыпей.

В настоящее время монацит добывается главным образом из россыпей, приуроченных к барам Нииндакара, Калакулам и Манавалакурачи. Первые две расположены к северу от устья р. Каллада и протягиваются на 17,6 км, третья — южнее, в районе г. Ковилам; длина ее 1,6 км. Ширина баров около 1 км. Мощность обогащенных минералами тяжелых фракций слоев песков колеблется от 0,6 до 1,5 м.

Источником минералов тяжелых фракций в россыпи Нииндакара — Калакулам являются в основном верхнетретичные песчаники. Минеральный состав продуктивных песков следующий:

ильменит около 80%, циркон 4—6%, рутил 4—6%, силлиманит 3—5%, кварц 4—5%, монацит 0,5—1%, гранат менее 0,5%.

Источником монацита и других минералов тяжелых фракций в россыпи Манавалакурачи служат главным образом архейские гнейсы и мигматиты. Минеральный состав продуктивных песков этой россыпи следующий: ильменит 75—80%, кварц 5—7%, циркон 4—6%, рутил 3—5%, гранат 3—5%, силлиманит 2—4%, монацит около 1%. Содержание в монаците ThO_2 составляет 9,5%, содержание U_3O_8 0,2—0,46%. Более обогащенный ураном монацит, носящий название шералита, содержит 4—6% U_3O_8 и 19—32% ThO_2 .

По данным Вадия, запасы монацита в прибрежно-морских россыпях штата Траванкур-Кочин составляют около 1 млн. *t* при содержании в монаците ThO_2 8—10,5% и U_3O_8 0,2—0,46%.

Россыпи ильменита, циркона и монацита штата Андхра на уран пока не используются. Основным источником минералов тяжелых фракций в россыпях здесь являются пегматиты близлежащих возвышенностей. В периоды дождей минералы выносятся отсюда многочисленными ручьями и отлагаются в своих приустьевых частях, а затем перемываются и переотлагаются морскими волнами. Наиболее интересные с экономической точки зрения россыпи приурочены к пляжам узкой прибрежной полосы, протягивающейся на 260 км от Калингапатнама до Какинада. В среднем длина отдельных россыпей составляет около 45 м, ширина — около 6 м и мощность — около 1 м. Содержание полезных минералов тяжелых фракций в прибрежно-морских россыпях следующее: магнетит 30—50%, ильменит 2—36,2%, гранат 2—15%, циркон 0,6—5,2%, монацит 0,6—3%.

В целом в прибрежно-морских россыпях Индии сосредоточены огромные запасы монацита, составляющие более 2 млн. *t* и около 150—180 тыс. *t* ThO_2 . Запасы урана в них оцениваются цифрой около 15 тыс. *t*.

Подгруппа 3. Месторождения в морских отложениях

Месторождения в песчаниках

Месторождения в морских песчаниках обычно характеризуются неравномерными и невысокими содержаниями урана. Промышленные скопления его выделяются лишь в отдельных участках, обогащенных органическими остатками и фосфатами кальция или связанных с миграцией урана при процессах окисления. Рудные тела имеют характер прерывистых пластообразных или линзообразных залежей, количество которых достигает иногда многих десятков.

В. Г. Мелков отмечает, что в подобных месторождениях наблюдается прямая зависимость между содержанием фосфора и урана. Оруденение, как правило, не приурочено к определенным

пластам или горизонтам и представлено линзообразными согласными залежами непостоянной мощности. В дислоцированных толщах при общем наклонном залегании вмещающих пород руды залегают также наклонно и примерно под тем же углом. Контуры рудных залежей обычно расплывчаты, причем в нижних (глубже залегающих частях) залежи имеют большую мощность.

Такая форма залежей объясняется процессами межпластового окисления первичных урансодержащих минералов под воздействием просачивавшихся поверхностных вод по напластованию и слоистости пород, сопровождавшимися миграцией урана. Уран мигрировал, вероятно, в шестивалентной форме, в виде растворимых комплексных карбонатных или сульфатных соединений.

Вмещающие песчаники и перемежающиеся с ними глинистые сланцы состоят из кварца, минералов глин, полевых шпатов, слюды, зерен фосфатов и небольших количеств глауконита и карбоната. Из аксессуаров встречаются турмалин, циркон, апатит, сфен, гранат, а также пирит и марказит. Два последних составляют до 5% от общей массы породы; количество фосфатов достигает 20%.

На одном из таких месторождений ураноносные залежи встречаются в разных горизонтах верхнего мела; общая мощность их достигает 150 м. Залежи имеют удлиненную форму и протягиваются на 1—6 км при ширине до нескольких сотен метров и мощности около 1 м. Залегают они согласно. Некоторые из них раздваиваются по восставанию.

Оруденение часто контролируется не изменчивостью фаций, а литологическими особенностями пород, в частности, их водопроницаемостью. Залежи располагаются на границе зон интенсивного и замедленного водообмена, т. е. на границе окисленных и неокисленных пород, и контролируются межпластовыми зонами окисления. Руды представлены урановыми чернями в песчаниках. В небольшом количестве местами распространены уранофан, бета-уранотил, отенит; встречаются глауконит, гидроокислы железа, магнезия, сфалерит, галенит, кальцит, гипс, а также растительные остатки. В отдельных участках в небольшом количестве отмечена урановая смолка.

Генезис месторождений в морских песчаниках рассматривается как эпигенетический, связанный с формированием зоны окисления, но этому предшествовало сингенетическое накопление урана в осадках. В пользу эпигенетического образования месторождений свидетельствуют следующие факты:

1) оруденение не подчинено какому-либо одному пласту или горизонту, а распространяется на несколько горизонтов;

2) распространение оруденения связано с повышенной пористостью пород;

3) в оруденении существенную роль играют фильтрационный эффект и наличие экранирующих пород;

4) радиоактивное равновесие в рудах смещается в сторону радия в верхних, «хвостовых» частях, наклоненных по падению рудных залежей, и в сторону урана — в нижних их частях;

5) урановые черны являются поздними образованиями, ассоциирующими с пиритом, сидеритом, глауконитом.

Таким образом, месторождения данного типа имеют сложное происхождение, обусловленное проявлением сингенетической или диагенетической стадии осадочного процесса и стадий эпигенеза и гипергенеза, сопровождавшихся окислением руд.

Месторождения в глинах с рыбными остатками

Месторождения, связанные с глинами, содержащими рыбные остатки, иногда обладают большой выдержанностью на широких площадях выходов рудоносных пород. Они представлены рудными пластами, приуроченными к углублениям в шельфовых зонах. Оруденение приурочено обычно к определенным горизонтам. Рудные залежи представлены как простыми пластами однородного сложения, так и пачками чередующихся рудных и безрудных пластов.

Уран связан с фосфатизированными остатками скелетов и чешуй рыб. В глинах устанавливается присутствие тонкодисперсного пирита — мельниковита. Кроме урана, в глинах в виде примеси отмечаются молибден, редкие земли, никель и кобальт. Содержание P_2O_5 колеблется в пределах 6—12%, урана — в пределах сотых долей процента.

Несмотря на низкое содержание урана в таких месторождениях, возможность применения простых и эффективных методов обогащения, в частности простой гидравлической классификации, обеспечивает экономичность и рентабельность их разработки при значительных масштабах оруденения.

Залежи приурочены к депрессиям морского дна, поверхность которого несет следы продольного размыва. Они представляют собой скопления остатков костей рыб и морских животных, которые сорбировали редкие земли и уран.

Строение рудной подбиты характеризуется наличием ритмичности. Отложение ее происходило с перерывами. Отмечается уменьшение размера зерен пород, слагающих рудную подбиту, и увеличение содержания урана к верхним частям разреза.

Рудные пласты представлены чередованием темных прослоев костного детритуса и светлых прослоев безрудных глин различной мощности. В периферических участках мощность уменьшается; руды полосчатые, слоистые. Местами рудный пласт представлен плотным костным детритусом.

Обычно рудный пласт сложен темными глинами с рыбными остатками в виде костей, чешуй, плавников и т. п., а также пирит-мельниковитом в виде тонкой вкрапленности. Первичные минералы весьма разнообразны. Среди них главное значение имеют

гидрослюды, пирит-мельниковит, карбонаты (кальцит и доломит), кварц, халцедон, полевые шпаты, целестин, глауконит и другие. Соотношение главных компонентов следующее: минералы глин с опалом и халцедоном 45—48%, пирит-мельниковит 30%, костные остатки 15—18%, карбонаты 15—18%.

Образование кальцита в рудах связано с окислением и разложением костных остатков, которые выражены преимущественно фосфатом кальция; органическое вещество в рудных пластах сохранилось слабо. Растительные остатки по количеству не превышают 5%. Уран связан с костными остатками, где находится в сорбированной форме.

Генезис месторождений такого типа довольно сложен, формирование их происходило в несколько этапов. Первым фактором образования этих месторождений явилось накопление значительных масс рыбных и других органических остатков, которые сорбировали уран.

Литолого-фациальное изучение пород района показало, что костные остатки представлены различными видами рыб, захороненными в разных частях бассейна и, по-видимому, в разных слоях. Целые скелеты отсутствуют, костные остатки раздроблены. Это объясняется их переотложением из различных размывавшихся слоев. Процесс накопления такого раздробленного органического материала аналогичен процессу образования базальных конгломератов. Наличие рыбных остатков вместе с остатками древесины указывает на то, что перенос материала происходил в наземных условиях. Это могло быть результатом размыва прибрежной зоны, сложенной глинистыми породами, и последующего отложения костного детритуса и соединений железа в мелководном бассейне. Вынос костного детритуса и железа явился вторым фактором образования месторождений. О совместном выносе детритуса и железа свидетельствует тот факт, что в слоях с детритусом имеется и мельниковит; в слоях же, где детритус отсутствует, мельниковит не встречается. Вынос рыбных остатков и железа связывается с периодами выпадения обильных осадков, которые чередовались с засушливыми периодами. Образование мельниковита происходило при усилении деятельности анаэробных бактерий, вызывавших появление сероводорода и выпадение дисперсного мельниковита.

Костный детритус, выносившийся в бассейн, содержал уран и редкие земли в сорбированном состоянии. Это подтверждается анализами рыбных остатков. Предполагают, что сорбция урана и редких земель имела место как в первичном морском бассейне, при гибели рыб и последующем образовании слоев костных остатков, так и в поздней стадии диагенеза — после переотложения этих остатков в виде костного детритуса. Отложение последнего, очевидно, происходило в спокойных мелководных условиях без морских течений и интенсивного морского прилива.

Благоприятными предпосылками для образования месторождений рассматриваемого типа являются:

- а) накопление костных остатков рыб и другой фауны, сорбирующих уран из морской воды;
- б) поднятие и обнажение из-под поверхности моря ураноносных слоев в предустьевом взморье;
- в) размыв этих слоев в условиях резкого климата, когда засушливый сезон сменялся периодическими обильными осадками;
- г) наземный перенос поверхностными потоками костного детритуса, его отложение вместе с глинистым материалом в мелководном бассейне, в спокойных условиях и последующая дополнительная сорбция урана детритусом.

Месторождения в битуминозных сланцах

Морские битуминозные глинистые сланцы широко распространены. В ряде стран с ними обычно связана некоторая ураноносность.

Общей отличительной особенностью ураносодержащих битуминозных сланцев является убогое содержание урана — порядка тысячных и первых сотых долей процента при большом, часто огромном площадном распространении этих сланцев; такие площади измеряются тысячами квадратных километров. Другая не менее важная особенность описываемых сланцев заключается в относительно равномерно-выдержанном содержании урана на больших площадях; кроме урана, в сланцах в небольших количествах обычно присутствуют ванадий, молибден, никель, кобальт, торий и редкие земли. Характерной особенностью ураносодержащих сланцев является также их преимущественно древний — кембро-силурийский возраст.

Такие породы широко распространены в США, в Швеции (квасцовые и диктионемовые сланцы), в Норвегии, во Франции, и во многих других странах. К данному типу урановых образований относятся и диктионемовые сланцы, характеристика которых дана в работах С. М. Глебова.

В большинстве случаев уран из ураносодержащих сланцев, несмотря на огромные валовые запасы его в породах, не извлекается, так как получение урана из них стоит очень дорого.

Разработка таких сланцев для получения урана, по имеющимся данным, производится только в Швеции, которая не имеет других существенных урановых месторождений. Ураноносные сланцы в Швеции местами отличаются несколько более высоким содержанием урана и разрабатываются с попутным извлечением из них нефтепродуктов.

Рассматриваемые ураносодержащие сланцы состоят из пелитового и алевритового материала, включающего значительное количество — до 30% — органического вещества. Количество P_2O_5 составляет 0,5—3,0%. Сланцы почти не содержат извести;

установлено, что даже незначительное содержание окиси кальция обычно сопровождается уменьшением содержания урана и, наоборот, с увеличением количества пирита содержание урана возрастает.

Морское происхождение сланцев в ряде случаев доказывается присутствием в них морской фауны. Образование осадков происходило, по-видимому, в спокойных, мелководных условиях. Мак-Келви считает, что накопление глинистых слоев, обогащенных ураном, происходило в узких заливах или в их краевых частях; сланцы обычно характеризуются четкой слоистостью и большой выдержанностью отдельных, даже тонких слоев. Осаждение урана происходило в восстановительных условиях, на что указывает частое присутствие пирита или марказита. В районе Чаттануга, США и в Нерке в Швеции сланцы содержат тонкие прослой битума или линзообразные скопления органического вещества либо горной смолы, называемой в Швеции кольмом. Такие образования характеризуются более высоким содержанием урана.

Часто черные глинистые сланцы ассоциируют с фосфоритами, фациально сменяющими их по направлению к суше. Однако при наличии мощных фосфоритовых формаций черные сланцы оказываются почти неураноносными.

Уран в битуминозных сланцах связан с органическими веществами, представленными в виде ураноорганических соединений, а также иногда — с присутствующими фосфатами и с дисперсным силикатным либо глинистым веществом. В. Г. Мелков указывает, что в небольшом количестве иногда содержатся также урановая смолка и урановые черни; смолка обнаружена, в частности, в медистых сланцах Мансфельда в Западной Германии. Содержание урана в битуминозных сланцах составляет только первые тысячные доли процента, причем далеко не все пласты сланцев содержат уран. Многие морские черные сланцы вообще неураноносны. Вместе с тем выделяются пласты и участки с несколько более высоким содержанием урана, до 0,01—0,03%. К. Ж. Белл приводит данные о содержаниях U_3O_8 в сланцах Чаттануга и Антрима (по Расселу) — 0,01%, в Швеции (по Вестергарду) — 0,023%.

Изучение литолого-фациальных условий образования ураноносных сланцев в ряде районов позволило выделить крупные и мелкие ритмы осадконакопления, отражающие изменение положения берега моря и степень эрозии рельефа, суши, а также изменение выноса обломочного материала. Отмечается, что повышенные содержания урана в одних ритмах связаны с неслоистыми аргиллитами центральных частей таких ритмов, в других — с нижними и верхними их частями. При этом установлено, что уран наблюдается в разных минеральных ассоциациях. В серых аргиллитах, где имела место окислительная среда, он пред-

ставлен в глауконито-фосфатной ассоциации; здесь уран присутствует совместно с редкими элементами и связан с сульфософатами кальция или с фосфатными оолитами. В черных разностях пород с органическим веществом, где среда была восстановительной, уран представлен смолкой вместе с сульфидами железа, органическими соединениями и полевыми шпатами. В бурых аргиллитах он связан со слюдкой типа серицита.

Формирование металлоносных осадков в подобных условиях происходило в стадию раннего диагенеза, обусловленного взаимодействием глинистых богатых органическими соединениями осадков с придонными водами, содержащими свободный кислород и шестивалентный уран. Осадконакопление протекало медленно. Предпосылками такого осадконакопления было наличие длительного континентального перерыва и образование пеллена.

Урансодержащие сланцы рассматриваются как образования, где уран накапливался сингенетично с осадками. В пользу этого говорит выдержанность тонких пластов и содержания в них урана. Возможно также, что уран осаждался из вод путем адсорбции из разбавленных ненасыщенных растворов органическим материалом, являющимся, судя по данным экспериментальных работ, весьма энергичным сорбентом в этих условиях.

Месторождения Швеции. Эти месторождения, представляющие наибольшее значение среди описываемых данного типа, расположены в провинции Нерке у оз. Венер. Они представлены черными квасцовыми сланцами среднего кембрия мощностью 75 м, перекрытыми более мощной толщей граптолитовых сланцев силура. Главное оруденение приурочено к средним или верхним частям разреза и имеет вид тонких линзообразных скоплений кольма, содержание урана в котором в среднем составляет 0,02 и нередко достигает 0,28%, а в золе — целых процентов. Обогащенный ураном горизонт может разрабатываться открытым способом, причем покрывающие его сланцы содержат до 5% нефтепродуктов. Запасы урана в балансовых рудах оцениваются в 100—150 тыс. т, в забалансовых рудах они в несколько раз больше.

Месторождения Чаттануга. Ураноносные глинистые сланцы Чаттануга в США, по данным Бейтса и Страла, характеризуются тонкой слоистостью. Они состоят из органического материала (22%) коричневого или желтоватого цвета, в котором рассеяны зерна кварца (около 22%) и полевого шпата (9%) размером около 0,1 мм. Невооруженным глазом видны мелкие чешуйки слюды, линзочки, желваки и мелкие кристаллики пирита и марказита (около 11%). Установлены также иллит (до 30%), каолинит, хлорит и незначительные количества окислов железа, турмалина, циркона и апатита. Минералы урана отсутствуют, но Бейтс и Страл считают, что 75% имеющегося урана рассеяно

в тонкозернистой основной массе породы, а 25% — в органических и глинистых образованиях. Эти авторы отмечают, что уран отложен из морской воды и при уплотнении осадка не переотлагался.

Запасы урана в глинистых сланцах Чаттануга, рассматриваемые как потенциальные, огромны и составляют несколько миллионов тонн металла при содержании 0,01—0,02%.

Месторождения в фосфоритах

Ураноносные фосфориты также имеют очень широкое распространение и характеризуются преимущественно убогими содержаниями урана. Лишь иногда встречаются месторождения с повышенным его содержанием, что обусловлено способностью фосфатов сорбировать ионы урана. Эта способность экспериментально доказана работами Е. В. Рожковой и Г. Мура.

Ураноносные фосфориты широко распространены во многих странах мира. В США они выявлены в двух больших областях: в формации Фосфориа, распространенной в штатах Монтана, Айдахо, Юта и Невада, и в формациях Боун Вэлли и Хаугори во Флориде (рис. 54, 55). Широко развиты ураносодержащие фосфориты в Марокко, Алжире, Тунисе и Египте. По-видимому, в наименьшем распространении фосфориты, содержащие уран, выявлены в Того и в Гане (Африка). В качестве побочного продукта уран получается при разработке фосфоритов Флориды (США). Намечается извлечение урана из фосфоритов Марокко.

Состав ураноносных фосфатных пород несколько различен. В Айдахо и Монтане (США) в средней части формации Фосфориа они представлены скрытокристаллическим карбонат-фтор-апатитовым веществом, содержащимся в темных кремнистых или карбонатных породах. Здесь фосфаты нередко образуют оолиты или замещают обломки раковин. В Марокко фосфоритоносные отложения представлены сланцами и песчаниками с прослоями мергелей, а также окремнелыми известняками. В эоценовых слоях отмечаются многочисленные остатки рыб и беспозвоночных организмов.

Мощность толщ и пластов фосфоритов и содержание в них фосфора и урана также весьма различны. Например, в Айдахо мощность ураноносного пласта, по П. Ф. Керру, составляет около 90 см при содержании P_2O_5 31%; уран присутствует в количестве 0,01—0,02%. Вместе с тем в той же формации Фосфориа имеются слои с большей мощностью, но более низкими содержаниями фосфора и урана. Обычно содержание урана в формации увеличивается с увеличением содержания фосфора, однако эта закономерность далеко не всегда выдерживается. По Мак-Келви и Кервеллу, содержание урана обратно пропорционально содержанию CO_2 , так как углекислота способствует растворению урана. Эта зависимость отчетливее выступает в тех случаях,

когда количество урана составляет более 0,01% и CO_2 — выше 3—4%.

Содержание урана зависит также и от текстурных особенностей фосфорного вещества. В фосфатизированных рыбных остат-

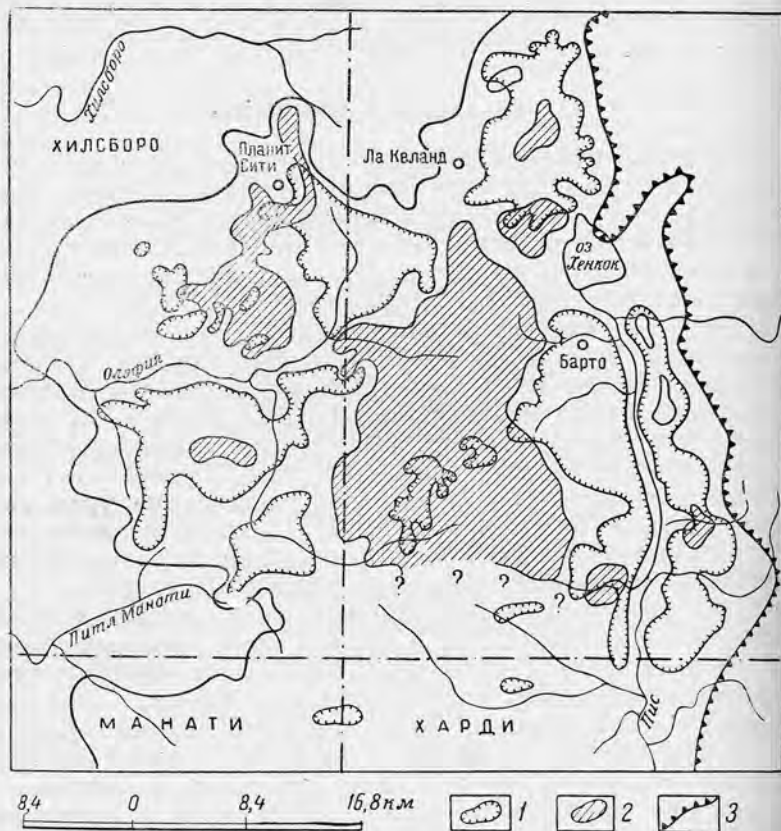


Рис. 54. Карта района ураноносных фосфоритов Флориды (по Кэткарту)
 1—2 — области развития пород, в которых: 1 — отношение крупнозернистого фосфата к мелкозернистому ниже единицы; 2 — содержание урана в частицах фосфата более 0,015%; 3 — граница распространения фосфоритов

ках и раковинах количество его ниже, чем в фосфоритах с бобовой текстурой. Томсон указывает, что содержание урана зависит и от размеров бобовин.

Во Флориде в нижней части фосфоритоносной формации при содержании P_2O_5 около 20% количество урана составляет 0,008%. Однако руды, по данным Кеткарта, хорошо обогащаются простой промывкой до содержания P_2O_5 29—34% и U_3O_8 0,008—0,05%. Кроме того, количество урана в крупнозернистом фосфорите выше, чем в мелкозернистом: 0,01—0,02 против 0,005—

0,015%. Содержание U_3O_8 в фосфоритах Марокко, по данным Ленобля, колеблется от 0,005 до 0,02%, достигая в отдельных участках 0,06%. Известны месторождения с еще более высоким содержанием урана (табл. 3).

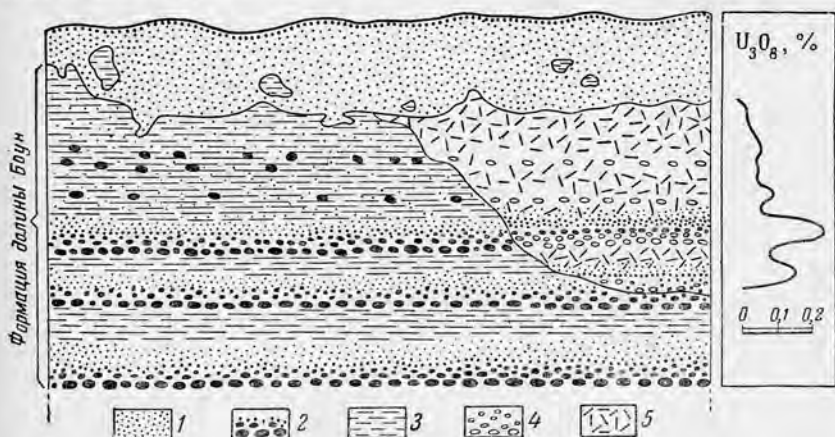


Рис. 55. Разрез ураноносных фосфоритов района Боун, Флорида (по Альтшулеру, Яффос и Куттиту)

1—3 зона фосфатов кальция: 1 — кварцевые пески, 2 — обломочный апатит, 3 — глины; 4—5 — алюмофосфатная зона: 4 — выветрелая каолиновая порода, 5 — фосфатизированные глины

Большая часть урана в отложениях рассматриваемого типа связана с карбонат-фторапатитом, где уран замещает кальций благодаря близости размеров ионных радиусов U^{4+} и Ca^{2+} . По данным Е. В. Рожковой, уран мог отлагаться в фосфате кальция не только сингенетично, но и на стадиях диагенеза и эпигенеза. Урановые минералы, обычно представленные карнотитом и отенитом, встречаются исключительно редко. За счет карбонат-фторапатита в коре выветривания иногда развиваются крандаллит, вавеллит и миллистит. Уран замещает кальций в крандаллите и отсутствует в вавеллите. В ассоциации с карбонат-фторапатитом находятся кварц, глинистый материал, глауконит.

М. Н. Альтгаузен образования морских фосфоритов связывает с периодами длительного размыва суши. Фосфор и уран, по его мнению, выносились в морские бассейны в виде растворов, и выпадали при изменении палеогеографических условий в начале каждого нового тектонического цикла, на что указывает связь ураноносных фосфоритов с трансгрессиями.

Уран или осаждался совместно с фосфором, или адсорбировался фосфатами. По мнению М. Н. Альтгаузена, образование урансодержащих фосфоритов связано с донными течениями, в результате которых происходило обычно восполнение убыли фосфора и урана, выпадавших в осадок. Наиболее благоприятным было осаждение в начале и в конце циклов седиментации,

Сводная характеристика главнейших месторождений ураноносных фосфоритов
(по Ю. Решетову, 1957 г.)

Названия районов и месторождений	Возраст	Состав фосфориноносных формаций (толщ)	Мощность формаций, м	Характеристика ураносодержащих пластов и горизонтов	Мощность горизонтов, м	Содержание, %		Источник литературных данных и примечание
						P ₂ O ₅	U	
Формация Фосфория (Юго-Восточная часть Айдахо, Монтана, Юта, Вайоминг в США)	Пермь	Верхняя свита — сланцы и фосфориты; нижняя свита — карбонатные и кремнистые породы	70—793	Оолитовые и желваковые фосфориты и фосфатизированные сланцы	3—17 14—50	9—11, в отдельных слоях до 31	0,003—0,008, в отдельных слоях 0,018—0,027	Мак-Келви, Кервелл
Фосфориты Флориды	Плиоцен	Глинистые доломиты, песчаные глины, кварцевые слонистые пески, мелкие галечники	До 140	Глины и пески с желваками фосфоритов	6—15	15—20	Средн. 0,005—0,008, в обогащенных участках до 0,12	Альшулер и Каттитт
Фосфориты Маэринокко (Уэд-Зем)	Маэринокко	Песчанки, фосфатные сланцы, мергели, окремненные известняки	?	Маэринокко с карбонат-апатитом	?		В среднем 0,005—0,02, местами до 0,06	Ленобль. Максимальное содержание отмечается в низах толщ

Фосфориты Египта	Сенон	Известняки, кремнистые породы и фосфориты	250—300	Пластообразные оолитовые залежи карбоната апатитового состава с большим количеством скелетных остатков	?	В среднем 0,003; в отдельных слоях 0,01—0,02	Сальвон, Мах и Ритман
Фосфориты Сенегала	Палеоген	Карбонатные, песчано-глинистые и кремнистые породы		Фосфоритовые породы			
Фосфориты Центральной Африки (Гана, Того, Нигерия)	Сангон-эоцен	Мергели, глинистые сланцы, кварцевые песчанки		Сферические и желваковые образования фосфоритов с глауконитом	4 15—18 и до 38	0,01—0,02 (до 0,05)	Висс

характеризовавшихся спокойными условиями и медленным накоплением осадков. На это указывает, по мнению Висса, присутствие в фосфоритоносных толщах в большинстве случаев двух фосфоритовых горизонтов.

В качестве источника фосфора многие исследователи (Большан, Шатский и др.) рассматривают кислые продукты вулканической деятельности, главным образом пеплы.¹ Накопление урана также связывают не с локальными, а с региональными источниками, о чем можно судить по широкому распространению урансодержащих фосфатных пород.

Некоторые исследователи (Ю. Решетов, М. Н. Альтгаузен) допускают обогащение ураном морских вод в определенные эпохи, совпадавшие иногда с эпохами фосфоритообразования. Следует отметить, что кости рыб, обломки раковин и другие органические фосфатизированные остатки, входящие в состав пород фосфоритоносных толщ, обычно не содержат урана; исключением являются относительно древние отложения. Наблюдающиеся различия в содержании урана в фосфоритах, по данным Мак-Келви, объясняются различно: концентрацией урана в морской воде во время отложения, величиной рН воды, концентрацией бикарбонатных и других ионов и продолжительностью непосредственного взаимодействия фосфоритовых оолитов с морской водой. При выветривании урансодержащих фосфоритов наблюдается обогащение их фосфором в результате остаточной концентрации, но обеднение ураном в связи с его выносом.

Возраст урансодержащих фосфоритов различный — от палеозоя до позднетретичного. Особенно широко они развиты среди образований кембрия-силура, перми, юры, мела, нижнего палеогена и неогена.

Месторождения в карбонатных породах

Месторождения урана в карбонатных породах морского происхождения имеют ограниченное распространение.

В. И. Данчев повышенные содержания урана связывает главным образом с известняками, реже — с доломитизированными известняками и доломитами. Урансодержащими породами чаще всего являются органогенные и оолитовые известняки, отлагавшиеся в условиях мелководных морских бассейнов. Присутствие органических соединений приводит также к накоплению сульфидов, в связи с чем породы часто принимают темную окраску. Такие карбонатные породы располагаются среди других осадочных образований — песчаников, алевролитов, гравелитов и т. п. Иногда в разрезе встречаются и эффузивные образования.

¹ Н. М. Страхов возражает против такого толкования фосфатонакопления и считает, что оно происходит за счет огромных запасов фосфора в морской воде платформенных морей в аридных условиях.

Кроме кальцита и доломита, в ураноносных карбонатных породах нередко присутствуют опал, халцедон, кварц, а также фосфаты, сульфаты и др.

Первичные рудные минералы обычно представлены урановыми чернями и смолкой в сопровождении пирита или марказита; реже присутствуют галенит, сфалерит, халькопирит и молибденит. В зоне окисления, по данным Я. Д. Готмана, широкое развитие получают ванадаты, фосфаты и сульфат-карбонаты урана.

В. И. Данчев и другие исследователи отмечают такие типы рудных образований в карбонатных породах: а) тонковкрапленные; б) микрослойные; в) сгустковые; г) оолитовые; д) органические; е) стилолитовые и ж) прожилковые. Отдельные рудные тела линзообразной формы иногда группируются в рудоносные полосы.

В перекристаллизованных породах рудное вещество часто выполняет интерстиции между кристаллическими зернами карбоната.

Накопление урановых соединений возникало в участках впадин морского дна ниже зоны кислородного насыщения. В стадии диагенеза происходило преобразование адсорбированных карбонатными илами урановых соединений в устойчивые минеральные формы с образованием конкреций, сгустков, с замещением органических остатков и т. п. В стадии эпигенеза шло дальнейшее преобразование рудных залежей.

Месторождения данного типа обычно небольшие и характеризуются невысоким качеством руд.

Некоторые обобщения по осадочным месторождениям урана морского происхождения

1. Осадочные месторождения урана морского происхождения имеют большое распространение. Кроме различных урансодержащих пород с незначительным убогим содержанием урана порядка тысячных и первых сотых процента, часто слагающих огромные площади, но пока неразрабатывающихся, известны и промышленные скопления урана. Последние обычно характеризуются невысоким или бедным содержанием металла, но большой масштаб месторождений нередко обуславливает рентабельность их разработки. Экономичность разработки таких месторождений возрастает, если возможно применение легких и дешевых способов технологической переработки руд.

2. Осадочные месторождения урана часто приурочены к песчаникам, темным глинистым сланцам и другим породам, обогащенным органическими остатками или фосфатами. Месторождения в морских песчаниках приобретают важное значение при наличии в них проявлений межпластового окисления, обуславливающих миграцию урана и образование локальных промышлен-

ных скоплений его в стадию эпигенеза. Рудные тела таких месторождений имеют линзообразный характер, согласное залегание и приурочены к поверхностям напластования пород различной проницаемости.

3. Месторождения в глинах с остатками рыб, имеющие важное промышленное значение, отличаются сложностью и многоэтапностью формирования. После накопления скелетов рыб и сорбции ими урана в течение континентального перерыва и связанных с ним процессов эрозии происходило перемывание слоев, сопровождавшееся раздроблением скелетных остатков, и новое отложение материала слоев в мелководных условиях в связи с перемещениями береговой линии.

4. Морские осадочные месторождения встречаются как в геосинклинальных зонах, так и в краевых частях платформ. В большинстве случаев — это прибрежные образования эпиконтинентальных бассейнов.

Накопление урана в осадках происходило в стадию сингенеза или раннего диагенеза и было связано с осаждением органических веществ.

5. В месторождениях битуминозных глинистых сланцев и фосфоритов заключены огромные количества урана. В настоящее время руды этих месторождений рассматриваются в большинстве случаев как непромышленные (забалансовые), так как способы получения из них металла дороги и неэкономичны. Руды эти могут считаться лишь потенциальными источниками получения урана в будущем.

6. В некоторых случаях комплексные месторождения с низким содержанием урана, до первых сотых процента, разрабатываются с одновременным извлечением других полезных компонентов, например фосфоритов во Флориде, нефтепродуктов в Швеции. Вместе с тем встречаются месторождения с промышленным содержанием урана, которые обрабатываются выборочно; примером могут являться кольт в Швеции, содержащий до 0,3% урана, а также отдельные участки и прослои фосфоритов и их самостоятельные месторождения, содержащие до 0,1% урана и выше.

7. Во многих месторождениях рассматриваемой подгруппы уран связан с органическим веществом или фосфоритами и редко образует индивидуализированные соединения, что необходимо учитывать при поисках.

КЛАСС III. МЕТАМОРФОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА

Типы метаморфогенных месторождений урана не столь разнообразны, но в последние годы эти месторождения приобрели огромное значение в промышленности.

Рассматриваемые месторождения сосредоточены главным образом в трех-четыре-х районах мира. Ограниченное их распространение объясняется, по-видимому, еще недостаточной изученностью самих месторождений и слабой поисковой освещенностью многих стран в этом направлении. Поэтому не исключена возможность открытия в будущем новых районов и месторождений такого типа. В настоящее время известно, что $\frac{2}{3}$ всех запасов урана капиталистических стран сосредоточено в метаморфогенных месторождениях.

Все рассматриваемые в этой главе месторождения относятся к классу осадочно-метаморфогенных. Собственно метаморфические месторождения урана достоверно неизвестны. Следует, однако, отметить, что недостаточная изученность процессов метаморфизма и их роли в рудообразовании является причиной того, что о происхождении описываемых месторождений высказываются самые различные, иногда даже диаметрально противоположные мнения. Многие исследователи сходятся на том, что дегидратация минералов, сопровождающаяся образованием поровых растворов, приводит к незначительному перемещению рудных компонентов и может сопровождаться концентрацией урана.

Главные признаки месторождений рассматриваемой группы сформулированы В. С. Домаревым. С некоторыми дополнениями они могут быть изложены в следующем виде:

1. Близость вещественного состава руд и вмещающих пород и незначительное участие сульфидов в минеральном составе руд.
2. Приуроченность руд к метаморфическим толщам и преимущественно согласные формы рудных тел.

3. Метасоматический характер отложения руд при подчиненном значении отложения руд в открытых трещинах.

4. Приуроченность оруденения к складчатым структурам и связанным с ними трещинам и отсутствие рудоконтролирующих разломов.

5. Наличие стратиграфического контроля в пространственном размещении руд.

6. Обычное отсутствие околорудных изменений.

В. С. Домарев считает, что оруденение данного класса представлено преимущественно урановой смолкой и тухолитом, которые благодаря высокой подвижности урана развиваются метасоматически, а также образуют скопления типа альпийских жил. С этим можно согласиться, хотя урановая смолка и тухолит, вероятно, и не являются единственными и даже главными минералами урана в рассматриваемых месторождениях; нередко главная роль принадлежит браннериту или ураниниту.

Среди описываемых месторождений можно выделить два основных типа:

1. Месторождения в углисто- и кремнисто-глинистых сланцах и карбонатных породах.

2. Древние ураноносные конгломераты.

Месторождения в углисто- и кремнисто-глинистых сланцах и карбонатных породах

Месторождения данного типа близки к соответствующим типам месторождений в морских отложениях. В отличие от последних они характеризуются повышенным содержанием урана в рудах и более отчетливо выраженным метаморфизмом руд и вмещающих пород. Повышенное содержание урана связывается с его миграцией и локализацией в определенных участках и прослоях при процессах регионального метаморфизма.

Процессы метаморфизма часто сопровождаются полимеризацией и карбонатизацией органических остатков, перекристаллизацией радиолярий, образованием стяжений, конкреций, метакристаллов пирита, хлоритоида, пирофиллита и других минералов, серицитизацией глинистого вещества и т. п. При этом образуются также альпийские жилки, выполненные кварцем, карбонатом и другими минералами, иногда с участием сульфидов. Особенностью новообразований при метаморфизме является их состав, вполне соответствующий составу вмещающих пород.

Урановое оруденение связано с органическими веществами и с выделением метакристаллов пирита, а также с альпийскими жилками. На ранних стадиях метаморфизма сначала происходит перекристаллизация пород, сопровождающаяся дегидратацией минералов, содержащих в своем составе воду. Одновременно протекает карбонатизация органических остатков, в связи с чем уран теряет сорбционную связь с ними и выделяется в виде

диспергированных окислов. На более поздних стадиях метаморфизма, при появлении, вследствие гидратации минералов, поровых растворов, уран в виде окислов отлагается в окислительно-восстановительных условиях в участках, подвергшихся деформации.

Формирование осадочно-метаморфогенных месторождений иногда сопровождается широко проявляющимся окремнением, пиритизацией глинистых сланцев и доломитизацией известняков, которые, однако, нельзя рассматривать как околорудные изменения вследствие их регионального распространения.

Месторождения, образующиеся при процессах седиментации и последующего метаморфизма, представлены пластообразными залежами, занимающими обычно строго стратифицированное положение. Локализация рудных тел иногда контролируется складчатыми структурами второго и третьего порядков. В отдельных случаях вблизи пластообразных залежей возникают также небольшие жиллообразные тела с урановой минерализацией в виде урановых черней, иногда с небольшим количеством смолки (рис. 56). В. Г. Мелков отмечает, что в месторождениях рассматриваемого типа породы нередко содержат линзы и тонкие прослои тухолита, перемежающиеся с углисто-кремнисто-глинистыми и другими сланцами и кварцитами.

Р. В. Гецева отмечает, что в рудах продуктивных горизонтов преобладают остаточные урановые черни, которые образуются в результате окисления дисперсных выделений урановой смолки и замещают основную ткань породы или дисульфиды железа. Выделения регенерированной смолки встречаются и в кварцевых прожилках. В черных сланцах оруденение преимущественно контролируется послойными нарушениями и милонитизацией, а в слюдисто-глинистых сланцах и доломитизированных известняках — метакристаллами, прожилками и стяжениями пирита. Указанный автор обращает внимание на тесную связь осветления черных сланцев с окислением органических соединений и выделением окислов урана.

В. С. Карпенко отмечает для одного из месторождений, где отчетливо выражены явления метаморфизма, что для образования крупных концентраций урана более благоприятна умеренная, но отнюдь не высокая степень метаморфизма.

Таким образом, формирование рассматриваемых месторождений обусловлено двумя основными причинами:

1) накоплением урана в осадках при седиментации или раннем диагенезе;

2) концентрацией урана в благоприятных для этого участках и слоях в связи с его миграцией при последующем и длительно протекавшем метаморфизме.

Условия накопления урана в морских отложениях кратко были рассмотрены выше. Промышленные скопления этого элемента в черных сланцах только путем седиментации, как уже

отмечалось, образуются в общем редко, если вообще они образуются. Чаще промышленные концентрации урана возникают при метаморфизме осадков. Как показывает изучение фактического материала, метаморфизм проявляется регионально, но неравномерно, вне прямой связи с магматизмом. Более интенсивно он выражен в участках брекчирования и милонитизации пород.

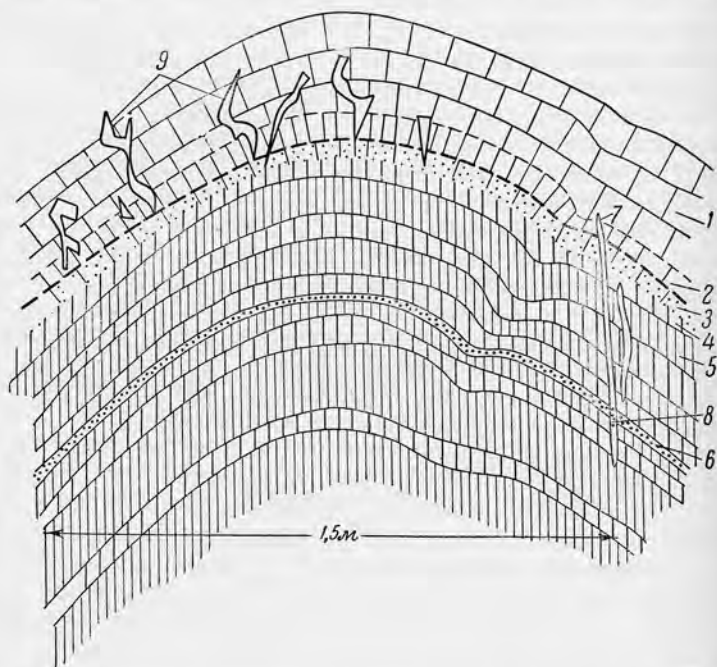


Рис. 56. Типичное развитие метаморфогенных жилок в различных породах продуктивной толщи (по Р. В. Гецевой)

1 — доломитизированный известняк; 2 — глинисто-известковый сланец; 3 — известково-глинистый сланец; 4 — глинисто-кремнистый сланец; 5 — углисто-глинистый сланец; 6 — пиритовый прослой; 7 — жильный кварц (по сланцеватости); 8 — жильный кварц с пиритом; 9 — жильный доломит (в трещинках разрыва)

Р. В. Гецева указывает, что урановое оруденение рассматриваемого типа приурочено к складчатым геосинклинальным областям и находится в определенной связи с участками пород, подвергшихся дислокациям.

Р. В. Гецева предложила следующую схему формирования месторождений в связи с развитием геосинклиналей и происходящими при этом процессами метаморфизма.

Первый этап соответствует средней стадии геосинклинального развития и главной фазе складчатости. Этот этап выражается в перекристаллизации пород и дегидратации минералов. При этом появляются новообразования доломита, кальцита, се-

рицита, пирита. Уран теряет связь с органическими соединениями, мигрирует и частично выделяется в виде диспергированных окислов.

Второй этап соответствует конечной стадии геосинклинального развития, ослаблению складчатости и усилению действия поровых растворов. В результате рудного метасоматоза выделяются окислы урана, марказит и продукты окисления органических соединений. Окислы урана осаждаются на окисляющихся продуктах органических соединений и на метакристаллах пирита. Происходит миграция урана в деформированных участках и замещение его окислами марказита.

Третий этап характеризуется затуханием тектонических движений и появлением трещинных растворов. На этом этапе происходит цементация брекчий, образование альпийских жилок. Из новообразований появляются поздние генерации карбоната, марказита и пирита, образуются кварц, битум, графит, халькопирит. В жилках происходит ограниченное выделение окислов урана на пирите.

Древние ураноносные конгломераты

В последние годы месторождения типа ураноносных конгломератов в ряде стран мира получили большое промышленное значение. Несмотря на относительно бедные руды, огромные выявленные запасы их, превышающие суммарные запасы всех других типов руд вместе взятых, известных в капиталистических странах, перспективы дальнейшего расширения запасов этих руд, а также наличие в некоторых месторождениях данного типа других ценных компонентов и благоприятные экономические условия — все это обуславливает возможность освоения месторождений данного типа в больших масштабах. Имеются сведения о том, что в последние годы удельный вес месторождений урана в древних конгломератах сильно возрос в общем производстве урана капиталистических стран. Запасы урана месторождений данного типа уже и теперь составляют около 60% всех запасов его в капиталистических странах.

Наряду с общими чертами строения, древние ураноносные конгломераты разных районов характеризуются различной степенью оруденения и геологическими особенностями. Сравнительное изучение геологического строения, условий залегания, размещения и форм рудных образований различных месторождений, а также состава руд и их строения важно не только для выяснения условий формирования этого очень важного типа месторождений, но и для расширения наших представлений о процессах рудообразования вообще.

Древние ураноносные конгломераты, приобретшие огромное промышленное значение, выявлены в двух районах мира — в Витватерсранде (Южная Африка) и в районе Блайнд-Ривер

(Алгома) в Канаде. Кроме того, урансодержащие конгломераты в докембрийских толщах известны также в Бразилии, в Габоне (Экваториальная Африка), в Австралии, в Финляндии. Месторождения этих стран и территорий разрабатываются в небольшом масштабе или их промышленное значение пока не вполне выяснено.

Главными особенностями рассматриваемого типа месторождений являются: приуроченность к краевым прогибам геосинклинальных зон или парагеосинклинальным областям, выполненным терригенными осадками; принадлежность этих осадков к верхнему структурному ярусу платформ; конгломератовый состав рудоносных пород; пластовый характер оруденения; отсутствие связи оруденения с тектоническими разломами и магматизмом. Своеобразен и сложен также минеральный и вещественный состав руд. Уран часто тесно связан с золотом, торием и редкими землями и сопровождается сульфидами железа и некоторых других металлов.

Ассоциация урана и золота дает возможность разрабатывать месторождения в Витватерсранде и в Бразилии комплексно с целью извлечения обоих компонентов даже при весьма низких содержаниях урана в руде порядка нескольких сотых процента. Урановое оруденение в одних случаях связано с окислами урана и тухолитом, в других главным образом — с браннеритом, причем распространяется на огромных площадях, приурочиваясь к отдельным горизонтам и иногда концентрируясь в нижних их частях.

Проблема генезиса ураноносных конгломератов весьма сложна и пока остается дискуссионной даже для самого изученного района их развития — Витватерсранда. Как известно, о генезисе золотого оруденения этого района были высказаны различные гипотезы. Одна из них рассматривает месторождения как метаморфизованные древние россыли, другая — как гидротермальные образования. Сторонниками первой гипотезы являются Меллор, Дю-Тойт, Нел и другие исследователи, сторонниками второй — В. Эммонс, Л. Грейтон, В. Мак-Келви, Д. Э. Эрхард, Е. Хейнрих и другие ученые.

Оценивая значение фактов, приводившихся для обоснования этих гипотез, В. Линдгрэн рассматривал проблему генезиса месторождений Витватерсранда как нерешенную, хотя и не скрывал того, что данные в пользу осадочно-метаморфогенной гипотезы представлялись более вескими. Принятию последней, по его мнению, препятствовало отсутствие в конгломератах Витватерсранда обычных для россыпей «черных песков», состоящих из магнетита и ильменита.

Новые данные о генезисе уранового оруденения в древних конгломератах приведены П. Рамдором, У. Либенбергом, Ч. Девидсоном, С. Холмсом, Л. Неллом и другими исследователями.

В пользу гидротермального происхождения уранового оруденения этого района, а также района Блайнд-Ривер, приводятся следующие данные и соображения.

1. Эпигенетический характер некоторых проявлений оруденения, в частности, присутствие золота, уранинита и сульфидов, явно отложившихся из растворов.

2. Близость абсолютных возрастов уранинита ураноносных конгломератов и гранитов смежных с Витватерсрандом районов.

3. Малая устойчивость уранинита к разрушению в современных россыпях, где он встречается весьма редко.

4. Присутствие в ураносодержащих конгломератах кобальта, а также палладия (Витватерсранд), которые, по мнению Ч. Ф. Девидсона, встречаются в гидротермальных месторождениях и неизвестны в россыпях.

5. Более высокое содержание в конгломератах золота, а также серебра в золоте (для Витватерсранда около 10%), чем в известных золотых россыпях.

6. Распространенность в природе гидротермальных месторождений, где с ураном ассоциирует золото (Мексика, Канада, Конго и др.), и общее геохимическое сходство оруденения древних ураноносных конгломератов и гидротермальных месторождений.

Целый ряд других доводов в пользу гидротермального генезиса ураноносных конгломератов, приводившихся различными авторами, отпадает, если учесть геологические особенности не только Витватерсранда, но и месторождений Канады и других районов. В частности, довод, приведенный В. Линдгреном, об отсутствии «черных песков» оказывается несостоятельным, поскольку такие «черные пески», состоящие из магнетита и ильменита, обычны для района Блайнд-Ривер и впоследствии отмечены в Витватерсранде. Присутствие в последнем в качестве главного ураносодержащего минерала браунерита устраняет и другое затруднение в объяснении формы возможной концентрации урана в россыпях, хотя для Витватерсранда вопрос о природе уранинита еще не вполне выяснен. Присутствие кобальта и палладия (последний установлен пока только в Витватерсранде, причем лишь в пентландите и некоторых других сульфидах, имеющих незначительное распространение), очевидно, не может рассматриваться как доказательство гидротермального генезиса оруденения. В настоящее время имеется уже много фактических данных, подтверждающих наличие кобальта и некоторых других металлов в осадках. Не доказан и довод Ч. Ф. Девидсона о гидротермальном характере альбитизации и присутствующего в цементе конгломератов пиррофиллита. Подводя итог, можно прийти к выводу, что большинство доводов в пользу гидротермального происхождения уранового, так же как и золотого, оруденения в древних конгломератах нельзя признать ни достаточным, ни бесспорным. Твердо установленным

фактом, заслуживающим особого рассмотрения, является лишь наличие эпигенетичной минерализации. На этом вопросе мы остановимся ниже.

В пользу осадочно-метаморфогенного генезиса оруденения древних ураноносных конгломератов приведены следующие основные положения:

1. Широкое площадное распространение оруденения и приуроченность его к отдельным горизонтам и пластам конгломератов.

2. Часто наблюдающаяся приуроченность оруденения к базальным горизонтам и нижним частям пластов конгломератов.

3. Струйчатый характер распределения золота и приуроченность уранового оруденения к понижениям в фундаменте.

4. Большая выдержанность пластов и горизонтов конгломератов по содержанию урана и золота, а также постоянство соотношений в них ряда минералов и элементов, в частности, золота и урана в Витватерсранде, что рассматривается как результат проявления силы тяжести.

5. Отсутствие всякой связи оруденения с разломами, которые могли бы служить подводящими каналами, и приуроченность ураноносных конгломератов преимущественно к синклинальным структурам.

6. Наличие в рудах не только уранинита (Витватерсранд, Серра-да-Жакобина), но и браннерита, концентрация которого вполне возможна механическим путем.

7. Бесспорно россыпное происхождение осмистого иридия, хромита, а также окатанных зерен браннерита, с которыми ассоциируют уранинит, пирит и другие сульфиды.

Приведенные факты в отдельности и в особенности в целом очень трудно объяснить, если принимать гидротермальную гипотезу.

Интересные и важные данные в подтверждение осадочно-метаморфогенной гипотезы оруденения приводит П. Рамдор, производивший минералогическое изучение руд из многих рудников Центрального, Восточного Ранда и района Одентал-Рюст. Он указывает, что окатанные обломочные зерна уранинита приурочены к тем участкам пластов конгломератов, где обычно встречаются обломочные зерна осмистого иридия и платины. После переноса и отложения в россыпи уранинит подвергся разрушению и сохранился преимущественно в ядрах зерен, которые иногда выполнены мельчайшими зернышками галенита. Углеродное вещество, дающее с ураном тухолиты, по мнению П. Рамдора, было привнесено в конгломераты позже уранинита. Золото подверглось переотложению и перекристаллизации вместе с сульфидами. Пирит образовался различным путем; значительная часть его, по мнению указанного автора, является сингенетичной, отложение другой произошло в процессе метаморфизма железосодержащих пород.

П. Рамдором установлено в конгломератах наличие галек пирита, кобальтина, а также обломочных зерен хромита, циркона, граната, рутила, шпинели и других минералов. Свои выводы о транспортированных и измененных минералах П. Рамдор и У. Либенберг иллюстрируют микрофотографиями, кажущимися весьма убедительными. В целом П. Рамдор приходит к выводу о том, что урансодержащие золотоносные пласты древних конгломератов Витватерсранда обладают всеми характерными особенностями россыпных месторождений, подвергшихся «псевдогидротермальным» метаморфическим процессам. Последние, по его мнению, вызваны давлением огромных толщ перекрывающих пород и периодическим повышением температуры в результате поствулканической деятельности и радиоактивного распада.

П. Рамдор считает, что месторождения формировались в основном как механические осадки или россыпи, т. е. имеют сингенетическое, обломочное происхождение. К такому же выводу пришел и У. Р. Либенберг, изучавший руды Витватерсранда в течение ряда лет.

Большинство исследователей металлоносных конгломератов приходит, как и П. Рамдор, к выводу о том, что происхождение уранового, а также и золотого оруденения древних конгломератов на широких площадях — сингенетическое, обломочное с последующей миграцией металлов в процессе метаморфизма. Этим многие исследователи и объясняют наличие эпигенетического оруденения.

Большая дискуссия о генезисе ураноносных конгломератов, пока не закончившаяся, не привела к признанию гидротермального их происхождения, но помогла выяснить некоторые слабые положения другой гипотезы — о первично сингенетичном обломочном характере этого типа оруденения. Наиболее уязвимыми местами данной гипотезы оказались не только условность представлений об эпигенетическом оруденении, но также и то, что ее положениями трудно объяснить сохранение мелких обломочных зерен уранинита, особенно в присутствии перекристаллизованных сульфидов, и воссоздать те физико-химические условия, которые явились причиной сохранения этих зерен от разложения. Ч. Ф. Девидсоном сделаны и другие критические замечания, пока не получившие достаточно убедительного освещения.

С целью объяснения наиболее трудного вопроса о генезисе эпигенетического уранового оруденения в древних конгломератах недавно была возрождена третья — инфильтрационная гипотеза. Эту гипотезу снова возродил японский ученый Н. Катаяма, который изучал урановое месторождение в третичных конгломератах Нингё-Тоё и пришел к выводу о том, что уран, выщелоченный из древних гранитов, в дальнейшем отлагался в пористых флювиальных или пролювиальных осадках в условиях полуза-

сушливого климата и длительных перерывов в процессе отложения. Аналогичное происхождение, по его мнению, имеют урановые месторождения в древних конгломератах.

Необходимо, однако, отметить, что в свете современных представлений об осадочном процессе, как сложном и многостадийном (Н. М. Страхов, Д. Г. Сапожников, А. Г. Перельман и др.), при образовании многих месторождений и, особенно, как мы видели, при образовании урановых месторождений процессы инфильтрации обычно считают составной частью стадии катагенеза осадочного процесса, которые неразрывно с ним связаны. Возможно, что такие процессы имели место и при формировании некоторых ураноносных древних конгломератов. Однако это может относиться преимущественно к урану и, по-видимому, гораздо менее — к золоту, торию и редким землям. Вследствие различной подвижности последних их поведение в гипергенных условиях было, по всей вероятности, неодинаковым, и их совместное нахождение еще предстоит обосновать.

Таким образом, в настоящее время наиболее веские доводы приводятся в пользу осадочно-метаморфогенного происхождения уранового оруденения, при котором сингенетичное осаждение сопровождалось, вероятно, неоднократным перемещением некоторых металлов и прежде всего урана в процессе эпигенеза и последовавшего затем метаморфизма.

Месторождения района Витватерсранд. Район ураносодержащих золотоносных конгломератов Витватерсранд, как известно, расположен в Южной Африке в пределах Южного Трансвааля. Он захватывает огромную территорию вокруг города Йоганнесбурга и распространяется далеко к западу и юго-западу. В этом районе, уже после его открытия в 1887 г., было получено около 15 тыс. *т* золота; примерно такие же запасы этого металла предполагаются в недрах. В 1950 г. здесь была установлена широко проявленная ураноносность в золотосодержащих конгломератах. Детальные исследования на уран были начаты еще в 1945 г. Г. В. Бейном и Ч. Ф. Девидсоном; в результате этих исследований в 1950 г. Англией и США заключена конвенция с Южно-Африканским Союзом о строительстве в Уэстерн-Рифе завода по переработке руд и о добыче руд сначала на 7 рудниках, а затем, по дополнительному соглашению в 1952 г., сооружении еще 14 заводов. Добыча ураносодержащих руд начата в конце 1952 г. и непрерывно возрастает. Из руд извлекаются золото, уран, окись марганца, а также пирит для производства серной кислоты, которая используется в Витватерсранде для переработки урановых руд.

Геологическое строение. В геологическом отношении ураноносный район Витватерсранд представляет собой огромную синклиналичную структуру (рис. 57), сложенную отложениями

более позднего докембрия, несогласно перекрывающими породы архейского возраста.

Породы архейского основания, представляющие собой первый, нижний структурный ярус, сильно дислоцированы. В пределах района они представлены комплексом, выраженным древ-

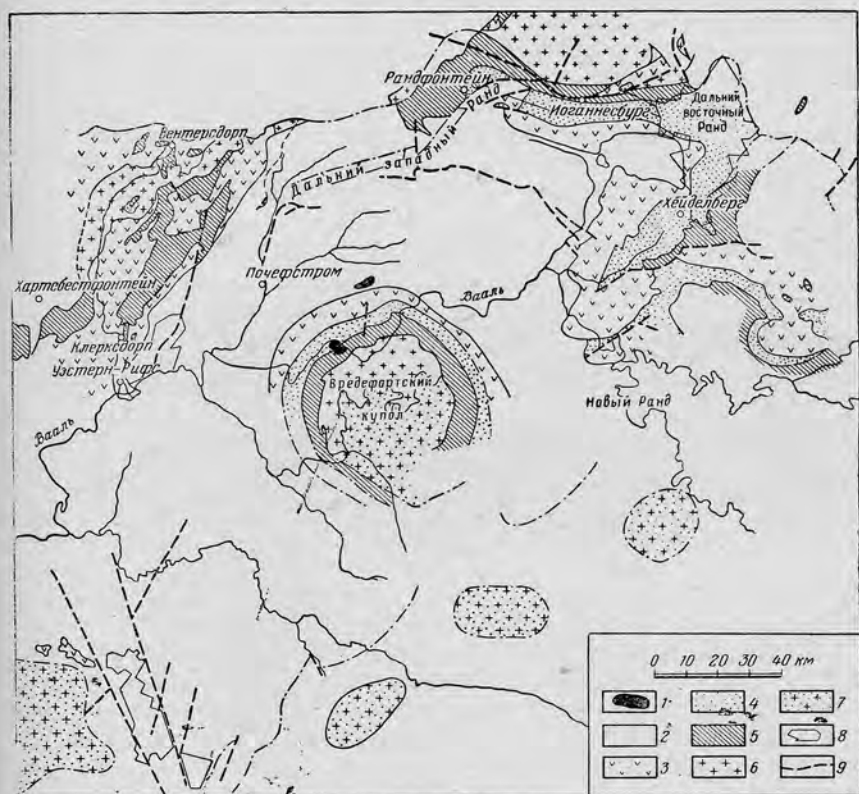


Рис. 57. Схематическая геологическая карта района Витватерсранда (по Дю-Тойту)

1 — щелочные интрузивы; 2 — породы систем Карру и трансваальской; 3 — породы системы Вентерсдорп; 4—5 — породы витватерсрандской системы: 4 — верхнего отдела; 5 — нижнего отдела; 6 — древний гранит; 7 — граниты, перекрытые породами системы Карру; 8 — контуры рудных площадей; 9 — конгломератные пласты

ними гранитами, гнейсами и кристаллическими сланцами, обнажающимися в виде нескольких куполообразных выступов в северной, восточной и южной частях Витватерсранда.

Второй структурный ярус представлен более поздними отложениями докембрия, выраженными дислоцированными породами витватерсрандской, вентерсдорпской и трансваальской систем, залегающими друг на друге с небольшими несогласиями. Дисло-

цированность пород витватерсрандской, вентерсдорпской и трансваальской систем связана со складчатостью Лимпопо.

Самый верхний структурный ярус слагают континентальные отложения верхнего палеозоя, лежащие почти горизонтально и несогласно на толщах протерозоя и архея.

Нижний член разреза — породы второго структурного яруса — составляет витватерсрандская система, толщи которой имеют огромную, но непостоянную мощность — до 7,8 км. Это чередующиеся слои конгломератов, кварцитов и сланцев с небольшим участием эффузивов, с преобладанием кремнистых и глинистых сланцев в нижнем отделе системы и кварцитов в верхнем (рис. 58).

В нижнем отделе витватерсрандской системы (мощность от 2700 до 4500 м) выделяются свиты: Доминьон-Риф, Хоспител-

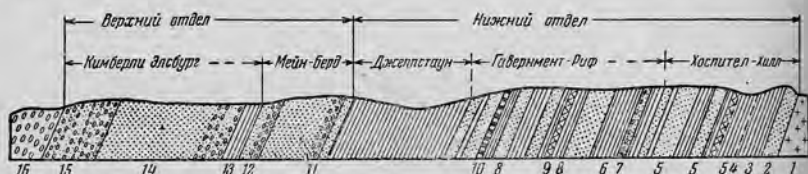


Рис. 58. Разрез через Витватерсранд в Центральном Ранде (по Меллору)

1 — древний гранит; 2 — кварциты Орандж-Грав; 3 — сланцы свиты Хоспител-Хилл; 4 — Контортед-Бед (смятый слой); 5 — кварциты свиты Хоспител-Хилл; 6 — слои Промайс; 7 — конгломерат (риф) Промайс; 8 — слои Коронешен; 9 — сланцы Коронешен или Западного Ранда; 10 — конгломерат (риф) Гавермент; 11 — конгломерат (риф) Мейн; 12 — конгломераты (риф) Берд; 13 — сланцы Кимберли; 14 — конгломераты (риф) Кимберли; 15 — конгломераты (риф) Эльсбург; 16 — Вентерсдорпские мандельштейны

Хилл, Гавермент-Риф и Джесптаун. Верхний отдел ее сложен двумя свитами — Мейн-Берд и Эльсбург-Кимберли.

Мощность свит, так же как и отдельных выделяющихся в них горизонтов, в разных частях района сильно изменяется. Вместе с тем некоторые пакки конгломератов и отдельные горизонты, например Мейн-Риф, Контортед-Бед и др., весьма выдержаны. Важнейшей особенностью витватерсрандской системы является широкое вертикальное распространение в ее разрезе конгломератов. Металлоносные конгломераты приурочены к разным свитам системы и имеют вид многочисленных перемежающихся с кварцитами и сланцами пластов или рифов.

Сопоставление свит и отдельных горизонтов витватерсрандской системы приведено на рис. 59.

Образования вентерсдорпской системы залегают на неровной поверхности пород витватерсрандской системы, а местами и на древних гранитах трансгрессивно и несогласно, хотя несогласие не везде четко выражено. Система сложена в основном эффузивами и туфами с базальными полимиктовыми конгломератами горизонта Контакт-Риф в основании. Эффузивы представлены базальтами, андезитами, в меньшей мере — кварцевыми порфирами и фельзитами, а также их туфами и туфогенными породами. Кроме конгломератов, присутствуют гравелиты, брек-

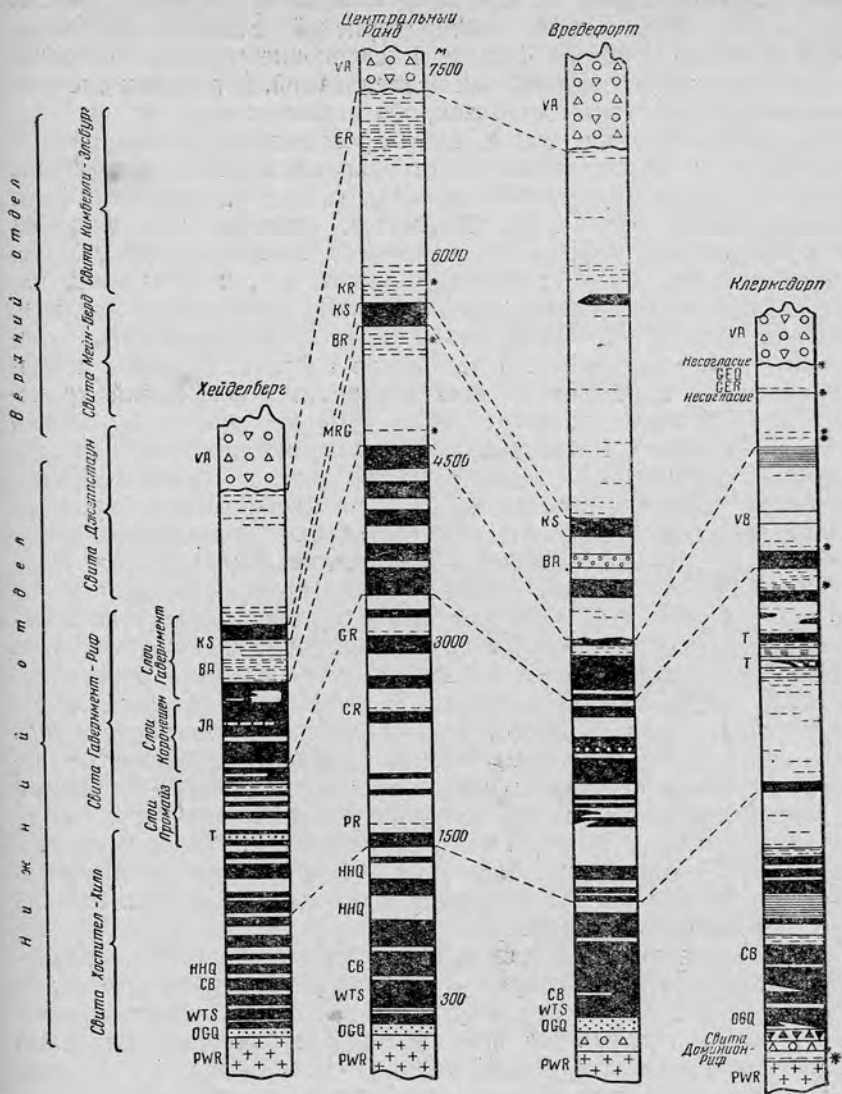


Рис. 59. Сопоставление конгломератных толщ с выделением ураносодержащих горизонтов (по Дю-Тойту с дополнениями других авторов):

RWR — породы основания; ОСQ — кварциты Орандж-Гров; WTS — сланцы Уотер-Тауер; СВ — пласт Контортед-Бед (смятый слой); HHQ — кварциты свиты Хоспител-Хилл; PR — пласт Промайз; CR — пласт Коронешен; Т — тиллит; GR — пласт Гавермент; IA — мандельштейны Джепстаун; MRG — породы группы Мейн-Риф; BA — мандельштейн Берд; BR — пласты Берд; KS — сланцы Кимберли; KR — пласты Кимберли; ER — пласты Эльсбург; GER — пласт Голд-Истейт; GEQ — кварцит Голд-Истейт; YA — мандельштейны венгерско-рифской системы. Звездочками обозначены ураносодержащие пласты конгломератов

чий, полевошпатовые песчаники, кремнистые и глинистые сланцы. Мощность образований вентерсдорпской системы достигает 1800 м, а может быть и больше. Расчленение системы несколько условно и требует дальнейших исследований. В породах системы отмечаются интрузивы диабазов, обогащенных магнетитом.

Стратиграфически выше, на выровненной эрозионной поверхности и на различных по стратиграфическому положению породах залегают образования трансваальской системы. В ее разрезе выделяется свита Блек-Риф, сложенная базальными конгломератами, кварцитами и отчасти сланцами, затем доломитовая свита, представленная доломитами, и в верхней части — глинистыми сланцами и железистыми кварцитами и, наконец, свита Претория, сложенная чередующимися толщами глинистых сланцев и кварцитов с подчиненными им вулканическими породами. Общая мощность образований трансваальской системы достигает 5000—8000 м. Стратиграфический разрез района Витватерсранд завершается континентальными, горизонтально залегающими слоями системы Карру (верхний карбон — нижняя юра). Они перекрывают огромные площади Южной Африки и представлены глинистыми сланцами, тиллитами, песчаниками и угленосными породами.

Главной структурой района Витватерсранд является огромная, выгнутая к северу синклираль, образовавшаяся в результате длительного опускания. Она осложнена складками меньшего порядка, связанными с движениями, происходившими в вентерсдорпское время. В послетрансваальское время произошло образование флексур и многочисленных разрывов типа сбросов. К некоторым таким разрывам приурочены диабазы. Все эти структуры связаны с гораздо более поздними движениями, чем шамвайская складчатость архейского фундамента, которая имела иное направление и большую интенсивность. Тектонические движения, обусловившие формирование синклинального прогиба, протекали длительно и имели полуплатформенный характер.

Оруденение. Золотоносные урансодержащие конгломераты приурочены к породам витватерсрандской системы и встречаются в различных свитах нижнего и преимущественно верхнего ее отделов. Не все пласты конгломератов содержат уран в значительных количествах, но золотоносные конгломераты часто обнаруживают те или иные содержания его на большом протяжении. Кроме пород витватерсрандской системы, золотоносность и ураноносность констатирована также в базальных конгломератах систем, лежащих выше вентерсдорпской и трансваальской.

По данным Хаутона, из всей толщи витватерсрандской системы содержание урана от 0,003% и выше показывают конгломераты, имеющие суммарную мощность от 60 до 212 м (от 1,33 до 5,29% суммарной длины керн скважин по разным уча-

сткам). Однако суммарная мощность пластов с промышленным содержанием урана значительно меньше, а среднее содержание его в подсчитанных запасах составляет лишь 0,024%, при среднем промышленном содержании золота около 5—10 г/м.

Главные продуктивные пласты конгломератов или рифы приурочены преимущественно к северному крылу синклинальной структуры, где большинство рудников сконцентрировано в полосе протяжением более 80 км. В последние годы в промышленное освоение вовлечены новые рудоносные площади в западной и юго-западной частях района. Например, в участках Клерксдорп и Одентал-Рюст выявлены конгломератные пласты с более высоким, чем в других участках, содержанием урана.

Золотое и урановое оруденение приурочено к сравнительно тонким прослоям конгломератов в мощной толще пород однородного состава. Мощность отдельных урансодержащих пластов колеблется в больших пределах — от десятков сантиметров до 2 м и более. Выдержанными по простиранию являются не отдельные пласты или прослои, а группы их, которые и выделяются при расчленении продуктивной толщи.

В настоящее время в Витватерсранде можно выделить более 20 урансодержащих пластов или рифов (сверху вниз; табл. 4).

Группа Эльсбургских пластов неясной мощности характеризуется содержанием золота около 5 г/м; содержание урана невысокое — первые сотые процента. Пласты Голд-Эстейтс и Эльсбург разрабатываются на золото и уран; последний получается как побочный продукт.

Группа Кимберлейских пластов характеризуется довольно высоким содержанием золота, но низким содержанием урана. Разрабатываются пласты в Дальнем Западном и Дальнем Восточном Ранде. Общая мощность группы Кимберлейских пластов, по Меллору, составляет около 150 м. Выделяются урансодержащие пласты Мейн-Кимберлей и Кимберлей. В рудном районе Одентал-Рюст выделяется Базальный пласт и в участке Клерксдорп — наиболее обогащенный ураном пласт Вааль.

Группа Бердских пластов отличается сравнительно низким содержанием золота и повышенным содержанием урана. Разрабатывается на уран в Центральном Ранде. Общая мощность этой группы пластов составляет около 150 м. Выделяются урансодержащие пласты Аппер Монарх и Монарх, которые местами объединены с другими пластами, образуя один сложный пласт Берд-Риф. Выделяются также пласты Левингстона и Джонстона. Первый разрабатывался в Центральном Ранде на золото. В настоящее время ввиду непромышленных содержаний золота и урана оба пласта не разрабатываются.

Характеристика главнейших ураноэдер

№ п/п	Название ураноносных пластов	Название систем и свит	Положение и строение пласта	Литологические особенности ураноносных пластов
1	Блек-Риф	Трансваальская система	Базальные конгломераты	Мелкогалечный конгломерат с включениями жильного кварца, сланца и известняка
2	Вентерсдорп-Контакт	Вентерсдорпская система	Базальные слои песчаников до крупногалечных конгломератов	Крупногалечные конгломераты со светлым цементом
3 4 5 6 7	Оркни Голд-Эстейтс Эльсбург Мейн-Кимберлей Кимберлей	Витватерсрандская система Свита Эльсбург-Кимберли	В кровле свиты В кровле свиты (линзообразные залежи среди глинистых сланцев; несогласно залегают на породах Мейн-Берд)	Кварцево-галечниковые конгломераты
8 9 10 11	Лидер Вааль (Базальный) Аппер Монарх Монарх	Свита Маркер Свита Берд Рифс		Мелкие кварцево-галечниковые конгломераты
12 13	Аппер Лидер Мейн		Местами покрывает Риф-Мейн-Лидер. В основании рифа наблюдаются эрозионные каналы.	Кварцево-галечниковые конгломераты

жацих пластов района Витватерсранд

Мощность продуктивного пласта, м	Мощность горизонта, м	Характер распределения уранового оруденения и минералогические его особенности	Промышленное значение	Название районов и месторождений
0,3—0,8		Спорадическое	Непромышленное	
		Спорадическое	Промышленное только по золоту	
0,3	500		Промышленное по золоту и урану при невысоком содержании урана	Восточный Витватерсранд
0,1—0,9 0,1—0,9 0,02—0,45 0,02—0,45	100—200	Обогащение вторичным уранинитом	Промышленное	Одентал-Рюст Клерксдор Одентал-Рюст
1,5—3,6		Слабоураноносный пласт	Непромышленное (?)	Западный и Дальневосточный Витватерсранд
		Выдержанный пласт	Промышленное (?)	

№ п/п	Название уранонос- ных пластов	Название систем и свит	Положение и строение пласта	Литологические особенности ураноносных пластов
14 14а	Мейн-Риф- Лидер Мидл	Свита Мейн-Берд	Ложится несогласно на свиту Джеспстаун. Эрозионные каналы	Переслаив. крупно- и мелкогалечные конгломераты
15	Саус			Мелкогалечниковый конгломерат, обогащенный углестым веществом
16	Карбон- Лидер		Линзообразные конгломераты; в основании эрозионные каналы	Кварцево-галечниковые конгломераты, богатые углестым веществом
17	Гавернмент	Свита Хоспител Хилл	Прослои в гравели- тах	Кварцево-галечниковые конгломераты
18	Доминион	Свита Доминион- Риф	Верхний пласт конгломерата отделен от базального песчаником	Мелкогалечный конгломерат в одну гальку

Главная группа пластов Мейн-Риф суммарной мощностью до 100 м рассматривается совместно с группой Берд в качестве одной свиты. Пласт Мейн-Риф, залегающий в основании этой группы мощностью 1,5 м является основным объектом разработки. Содержание золота в пласте Мейн-Риф невысокое, но равномерное; содержание урана 0,034—0,042%. В этой группе выделяются пласты Мейн-Лидер, Саус, и Карбон. В связи с невыдержанностью отдельных пластов и горизонтов в некоторых участках пласты Мейн-Риф, Лидер и Мидл выпадают и ниже пласта Мейн появляются ураноносные пласты Саус и Карбон-Лидер.

Стратиграфически ниже, уже в нижнем отделе системы среди пород свиты Хоспител Хилл выделяется ураноносный пласт Гавернмент, характеризующийся содержанием урана

Мощность продуктивного пласта, м	Мощность горизонта, м	Характер распределения уранового оруденения и минералогические его особенности	Промышленное значение	Название районов и месторождений
До 3,0		Содержание урана и золота непостоянно	Промышленное	Центральный и Восточный Витватерсранд. Выдержан на 65 км
0,6—1,5		Обогащение углистым веществом и золотом	Местами промышленное	Дальний Западный Витватерсранд
0,35—0,7		Обогащение тухолимом и золотом	Местами промышленное	Дальний Западный Витватерсранд. Центральный Витватерсранд
1,0 ?		Обогащение ураном и золотом	Важное промышленное	В участке Клерксдорп Африканер-Риф
0,025	20	Обогащение ураном	Промышленное	Клерксдорп

того же порядка, что и в пласте Мейн-Риф. Наконец, в свите Доминьон Риф в базальном горизонте витватерсрандской системы выделяются ураноносные прослои, один из которых отличается особенно повышенным содержанием урана — до 0,1%.

Кроме охарактеризованных главных пластов, в пределах пород витватерсрандской системы выделяется ряд других с более низким содержанием урана. Непромышленная ураноносность установлена в базальных конгломератах вентерсдорпской и трансваальской систем, в пластах Контакт-Риф и Блек-Риф.

Интересно отметить, что повышенным содержанием урана отличаются те горизонты витватерсрандской системы, которые залегают с небольшим, местным несогласием, например пласт Кимберлей, лежащий на породах свиты Мейн-Берд, и особенно пласты Мейн и Мейн-Риф-Лидер (рис. 60). Другой важной зако-

номерностью, отмечающейя Л. Нелом, является приуроченность обогащенных ураном участков к местным депрессиям и эрозийным каналам. Такие каналы указываются в пластах Карбон-Лидер, Мейн-Лидер и Мейн-Риф.

Содержание урана в разрабатывающихся пластах Витватерсранда колеблется в пределах от 0,005 до 0,10% и выше, в среднем составляет около 0,023%. По последним данным, в участке Клерксдорп выявлены существенные запасы относительно богатых руд со средним содержанием около 0,1%. Прямая корреляция между золотом и ураном в большинстве случаев отсутствует или устанавливается лишь для отдельных участков (Казинс).

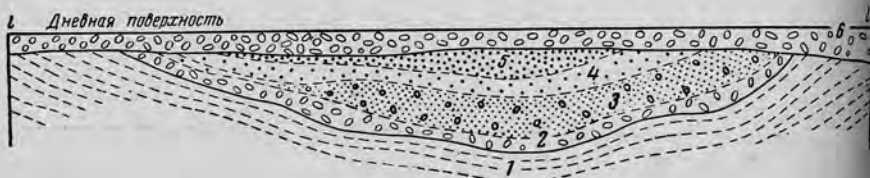


Рис. 60. Несогласное налегание ураносодержащего конгломерата пласта «Мейн-Риф-Лидер» в Дальнем Восточном Ранде (по Дю-Тойту)

1 — сланцы Джепстаун; 2 — пласт Футволл; 3 — пласт Бастард; 4 — кварцитовые сланцы; 5 — сланцы горизонта Мейн-Риф-Лидер; 6 — конгломерат Мейн-Риф-Лидер; П — поверхность эрозии

Золотоносные ураносодержащие конгломераты Витватерсранда (рис. 61) в большинстве случаев представлены олигомиктовыми или мономиктовыми разностями с окатанной галькой кварца часто стекловидного, реже с менее окатанной галькой полосчатого роговика и сланца. Гальки местами раздроблены; размер гальки 3—6 см. Цемент конгломератов темный и состоит из серицита, пирофиллита, хлорита, хлоритоида, карбоната, углистого вещества и сульфидов, из которых главную роль играют пирит и пирротин. Местами цемент кремнистый, и конгломерат представляет собой гальки, как бы запаянные в кварците.

Урановая минерализация выражена уранинитом и тухолитом. В незначительной степени уран присутствует в монаците, цирконе, лейкоксене, эвксените и в охрах. Уранинит приурочен к цементу конгломератов и встречается преимущественно в виде овальных зерен размером около 75 микрон. Зерна часто деформированы, содержат включения золота и сульфидов, особенно галенита (рис. 62), и нередко замещены тухолитом, содержащим остатки уранинита. Наблюдается также и вторичный уранинит или смолка. У. Р. Либенберг отмечает, что в некоторых пластах нередко встречаются обломочные зерна уранотитаната, превращенного в лейкоксен и сходного с из-

менным браннеритом¹. По мнению П. Рамдора, У. Либенберга и других исследователей, округлые зерна уранинита являются обломочными и ведут себя так же, как и другие обломочные минералы тяжелой фракции конгломератов (рис. 63). В некоторых случаях, например в свите Доминьон Риф, уранинит вместе с другим обломочным материалом концентриру-

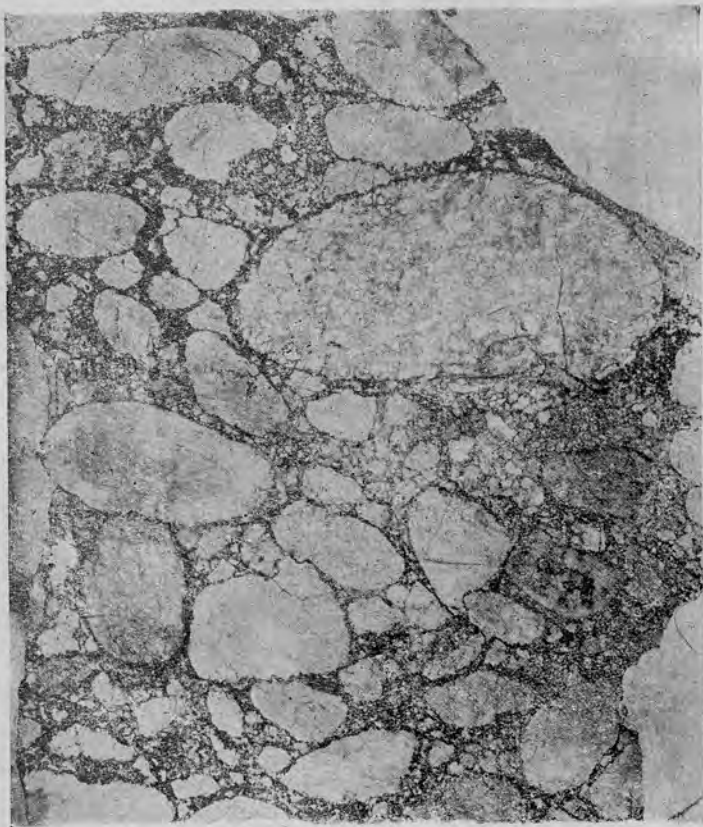


Рис. 61. Урансодержащие золотоносные конгломераты Витватерсранда (по Дю-Тойту) Нат. вел.

ются не в самом конгломерате, а в тонком песчанистом материале.

Уранинит обычно довольно равномерно рассеян в цементе конгломератов, но иногда наблюдается в виде скоплений и даже в виде агрегатов. П. Рамдор утверждает, что, несмотря на тщательно проведенные исследования, урановой смолки гидротермального происхождения им нигде не констатировано.

¹ Впоследствии П. Рамдор подтвердил распространение этого минерала.

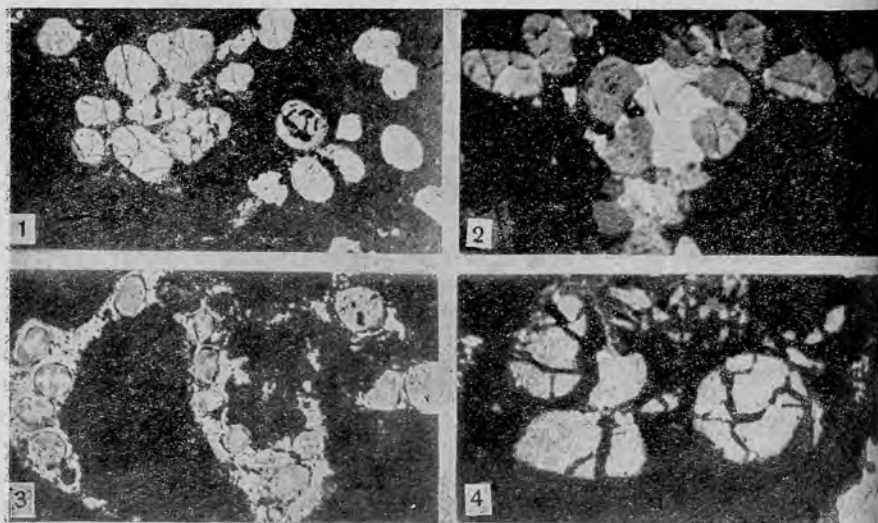


Рис. 62. Обломочные зерна уранинита округлой формы; $\times 65-170$ (микрофото У. Либенберга). Витватерсранд

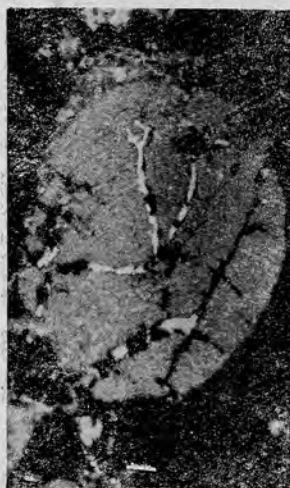


Рис. 63. Обломочное зерно уранинита в кварце. Прожилки в зерне уранинита выполнены галенимом. Оторочка — вторичный уранинит (микрофото У. Либенберга); $\times 290$. Витватерсранд

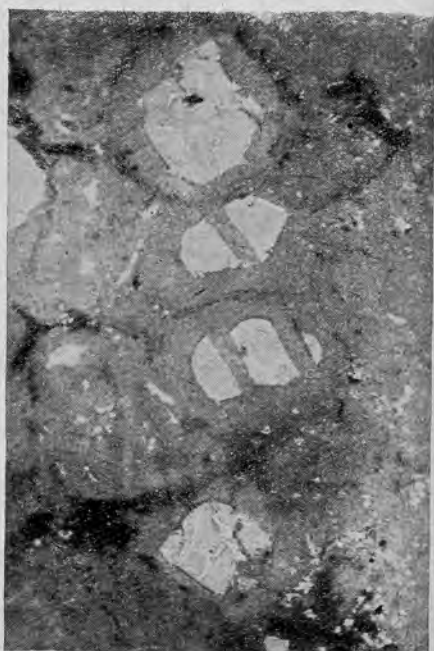


Рис. 64. Замещение уранинита гехолитом (микрофото У. Либенберга) $\times 125$. Витватерсранд

Что же касается уранинита, то этот минерал является высокотемпературной разновидностью и содержит около 2,5% тория и до 2% редких земель. П. Рамдор отмечает также, что уранинит присутствует в виде мелких рассеянных угловатых зерен в углистом веществе, причем последнее привнесено позд-



Рис. 65. Выделения тухолита в конгломератах Витватерсранда
1 — столбчатый тухолит; 2 — пластинчатый тухолит

нее уранинита. Таким мелкорассеянным уранинитом представлена главная часть урановой минерализации.

Тухолит замещает уранинит, но иногда образует и скопления, где выражен столбчатой или пластинчатой разностями (рис. 64, 65). Скопления тухолита достигают значительной величины и особенно обильны в пласте Карбон-Лидер свиты Мейн-Берд. Его образование Ч. Девидсон связывает с полимеризацией углекислых и углеводородных газов под влиянием

радиоактивного распада присутствующих урановых минералов.

Золото представлено преимущественно мельчайшими угловатыми зернами или неправильными пластинками, а кроме того, встречается в виде прожилков и включений в интерстициях между зернами других минералов цемента. В гальках конгломератов золото, так же как и уранинит, встречается очень редко, лишь в виде прожилков. По мнению Рамдора, золото было переотложено вместе со скуттерудитом, линнеитом, галени- том, халькопиритом и пирротинном.

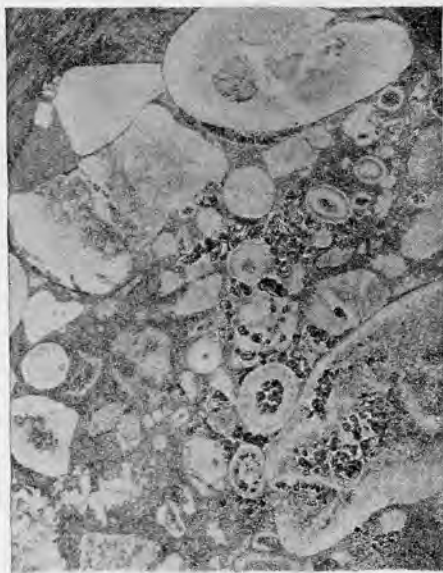


Рис. 66. Пиритовые конкреции наряду с крупной пиритовой галькой (по П. Рамдору). Витватерсранд

Кроме перечисленных сульфидов, в ураносодержащих конгломератах местами встречаются арсенопирит и пентландит, а также кобальтин, миллерит, альгодонит.

Для описываемых конгломератов характерно присутствие сульфидов в количестве 5—10% от всей массы породы. Главную роль среди них играет пирит, представленный нередко в виде округленных «гранулированных» зерен, а также неправильных включений и кристаллов. Рамдор описал пиритовые гальки (рис. 66). Корковый и скелетный пирит, по его мнению, образовался позднее золота и транспортированных, т. е. сингенетично осаждавшихся, сульфидов; формирование коркового пирита, по мнению

этого автора, продолжается и в современных условиях. В некоторых участках, например, в руднике Саб-Нигел, преобладающее развитие среди сульфидов имеет пирротин.

В ураносодержащих конгломератах встречаются типичные обломочные минералы — хромит, циркон, реже шпинель, гранат, ксенотим, рутил, эксенит, алмаз, апатит, турмалин, монацит и другие. П. Рамдор считает аутигенными минералами халькопирит, галениит, сфалерит, скуттерудит, линнеит и тетраэдрит. Пирротин и хлоритид рассматриваются как минералы метаморфогенного происхождения, причем пирротин приурочивается к наиболее глубинным участкам, а также к участкам, прилегающим к дайкам.

В настоящее время большинство исследователей, как уже отмечалось выше, придерживается взгляда на осадочно-метаморфогенное происхождение месторождений Витватерсранда. Однако рядом крупных исследователей высказано мнение о гидротермальном их происхождении; Ч. Девидсон, В. Мак-Келви, Д. Эверхард, Р. Гаррелс и Е. Хейнрих до сих пор разделяют последнюю точку зрения.

Подводя итоги всем освещенным выше противоположным взглядам на генезис месторождений Витватерсранда, можно сделать вывод, что в настоящее время имеющимся данным более отвечает осадочно-метаморфогенная гипотеза.

Запасы урана в месторождениях Витватерсранда огромны и составляют, по материалам Второй Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии, около 300 тыс. *т*. Среднее содержание урана в рудах низкое, порядка 0,02—0,03%, но комплексный состав руд, содержащий золото в количестве 5—10 *г/т*, обеспечивает выгодную разработку месторождений при извлечении обоих металлов. В настоящее время на месторождениях разведаны отдельные участки, содержание урана по которым достигает 0,1%.

Месторождения района Блайнд-Ривер. Второй крупный район ураноносных конгломератов Блайнд-Ривер расположен сравнительно недалеко от северного берега оз. Гурон в южной части провинции Онтарио. Экономическое положение района благоприятно для освоения и разработки: он достаточно густо населен, связан путями сообщения с городом и портом Солт-Сент-Мари, располагаясь приблизительно в 150 км от них и, примерно в таком же расстоянии к юго-востоку от центра никелевой промышленности — рудного района Седбери.

Открытие рудоносности района Блайнд-Ривер связано с обнаружением в его окрестности ураноносных жил, находящихся в контакте с диабазовыми дайками. Впоследствии в результате аэрорадиометрических и наземных поисков у пос. Лонг были выявлены обширные площади радиоактивных конгломератов, первоначально определенные как ториеносные породы.

Интенсивные детальные поиски были организованы в районе только в 1953 г. после обнаружения здесь и уранового оруденения. Крупные разведочные работы развернулись с конца 1953 г. В настоящее время в районе ведется интенсивная разработка месторождений и одновременная переработка руд на гидрOMETаллургических заводах.

Геологическое строение. Данные о геологическом строении района и месторождений известны из статей его многочисленных исследователей — Д. Бетмана, Ф. Жубена, П. Страуса, Р. Юнга, А. Гопкинса, И. Гарта и И. Гарпера, И. Трейля, В. Коллинза, А. Ланга, С. Холмса, С. Робертсона, Стинленда, Ж. Дерри и др.

Район ураноносных конгломератов Блайнд-Ривер приурочен к складчатому обрамлению Канадского щита и сложен исключительно докембрийскими породами. Разрез его, по описанию И. Абрагама, представляется в следующем виде (снизу вверх):

1. Догуронская группа (архей). Габбро, граниты, гранит-порфиры, гранито-гнейсы. По данным Гарта и Гарпера, присутствуют также зеленокаменные породы и метаморфизованные конгломераты. Граниты и гранито-гнейсы слагают большой интрузивный массив, протягивающийся далее к югу под толщу гуронских осадков и имеющий характер крупной пластовой интрузии. Породы пересечены дайками гранита.

2. Гуронская группа (протерозой). Мощная толща осадочных или осадочно-вулканогенных метаморфизованных пород, представленных конгломератами, аркозами, алевролитами, глинистыми сланцами, а также граувакками, известняками, перемежающимися с кварцитами и перекрывающимися ими. Мощность толщи около 1000 м. Образования гуронской группы несогласно залегают на догуронских породах. С осадочной толщей гурона параллелизуются метаморфические породы, представленные кристаллическими сланцами — мусковитовыми, гранато- и ставролитом-мусковитовыми, амфиболо-биотитовыми и др., и парагнейсы с прослоями кварцитов и конгломератов. Все эти породы распространены южнее большой зоны разломов.

3. Группа Кьюннаван (верхний протерозой). Мелкие интрузивы основного и среднего состава — диабазы, габбро, диориты, среди которых преобладают дайки и силлы.

Все породы, за исключением даек оливиновых диабазов, прорваны интрузивом гранитов так называемого килларнейского типа, крупный массив которых выступает южнее рудника Пронто. С гранитами связаны аплитовые жилы, секущие породы гуронской серии, а также зоны окварцевания и альбитизации.

Гуронская группа расчленена В. Коллинзом на две серии: серию Брюсс, отвечающую нижнему и среднему гурону, и серию Кобальт, отвечающую верхнему гурону. Первая из них, с которой непосредственно связаны ураноносные конгломераты, в свою очередь разделяется на свиты Миссисаги, Брюсс, Эспанола и Серпент.

Свита Миссисаги является нижней в серии Брюсс, имеет постоянную мощность — от 225 до 1950 м и представлена кварцитами, конгломератами, граувакками, аркозами и аргиллитами. Эта свита Робертсоном и Стиглендом разделяется на три формации — нижнюю, среднюю и верхнюю. В нижнемиссисагской формации, с которой связаны все промышленные ураноносные конгломераты, Роско выделяет еще два горизонта: продуктивный горизонт Матиненда, состоящий из кварцевогалечных конгломератов и аркозов непостоянной мощности — до 210 м, и горизонт Нордик, представленный несколько более

глубоководными отложениями в виде граувакк, кварцитов, алевритов и аргиллитов мощностью до 100 м. Формация среднемиссисагская (по Роско, формация Виски) общей мощностью около 250 м сложена полимиктовыми конгломератами со слабо окатанными включениями, мощностью 60 м, а также аргиллитами, алевролитами и граувакками. Формация верхнемиссисагская, или Тен-Майл постепенно сменяет предыдущую и представлена мелкозернистыми кварцитами непостоянной мощности — от 180 до 550 м; ей подчинено несколько тонких прослоев кварцевогалечных конгломератов в нижней и верхней ее частях.

Располагающаяся выше свита Брюсс¹, отвечающая нижней части среднего гурона, разделяется на две формации — конгломератовую и известняковую. На ней последовательно залегают свита Эспанола мощностью 150—230 м, также расчленяющаяся на две формации — граувакковую и известняковую, и далее свита Серпент мощностью 270 м, состоящая из кварцитов.

Образования серии Кобальт (верхний гурон) несогласно лежат на породах серии Брюсс и представлены двумя свитами: свитой Гоуганда, сложной чередующимися конгломератами, граувакками и кварцитами общей мощностью 900 м, и свитой Лорейн, состоящей из кварцитов с прослоями кварцевогалечных или яшмогалечных конгломератов. Породы свиты Гоуганда местами располагаются непосредственно на архейском фундаменте.

Таков детальный стратиграфический разрез гуронских отложений района Блайнд-Ривер.

В районе ураноносных конгломератов Блайнд-Ривер выделяются два структурных яруса: нижний — догуронский, породы которого осложнены мелкой, местами интенсивной, часто изоклинальной складчатостью, и верхний — послегуронский, выраженный широкими складками гуронских образований. Оси послегуронских складок имеют широтное простирание.

В структурном отношении район представляет собой систему двух складок, имеющих вид перевернутой буквы S (см. рис. 68). В северной части этой структуры выделяется широкая синклиналь Кверк с осью близширотного простирания, южнее переходящая в антиклиналь. Углы падения северного крыла синклинали колеблются от 25 до 50°, южного — от 5 до 18°. Осью складки погружена к западу. Кроме того, отмечаются мелкая складчатость в тонкослоистых известняках у оз. Кверк, складки волочения в аргиллитах, а также ряд крутых, преимущественно широтных разломов. Оси мелких складок погружаются также к западу.

¹ Свиту Брюсс нельзя смешивать с серией того же названия, в состав которой она входит.

Оруденение. Ураноносные конгломераты промышленного типа приурочены к горизонту Матиненда нижнемиссиссиппийской формации. Рудный горизонт сложен кварцево-галечниковыми конгломератами, полевошпатовыми кварцитами и аркозами, залегающими в виде невыдержанных, часто линзовидных пластов мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров с типичной косо́й слоистостью. Последующие отложения горизонтов Нордик, Виски и Тен-Майл отличаются нормальной слоистостью и развитием в общем более тонкозернистых фаций терригенных осадков с отдельными редкими прослоями конгломератов. Фации этих горизонтов рассматриваются как прибрежно-морские. Главный ураноносный пласт кварцево-галечных конгломератов нередко залегает непосредственно на догуронских породах, а на кварцитах и имеет мощность до 12 м. Отмечается, что мощность конгломератов более значительна в участках общего увеличения мощности отложений данной формации. В северной полосе Кверк выявлены и другие пласты ураноносных конгломератов, менее выдержанные, приуроченные к верхним частям формации.



Рис. 67. Детальный разрез ураноносных конгломератов месторождения участка Пронто. Блайнд-Ривер (по С. Холмсу)

Урановое оруденение связано с кварцевогалечными конгломератами и отчасти — с переслаивающимися с ними кварцитами и песчаниками (рис. 67). Валунные и межформационные конгломераты несут слабое оруденение.

Урановые конгломераты прослежены с перерывами почти на 115 км, в пределах северного и южного крыльев синклинали и отчасти южного крыла антиклинали, но наиболее богатые залежи разведаны на относительно ограниченных по площади участках. Эти залежи приурочены к понижениям в догуронском фундаменте, которые Гарт, Дерри и другие исследователи рассматривают как древние русла. Поэтому ураноносные конгломераты часто имеют линзообразную форму и вытягиваются

в виде зон. Выделяют три такие зоны: северную — Кверк, южную — Нордик в пределах синклинали и зону Пронто в пределах антиклинали. В понижениях ураноносные конгломераты залегают или непосредственно на догуронских сланцах, что наблюдается, например, в рудных участках Пронто, Кверк и Нордик, или на кварцитах в 6—12 м от поверхности размыва (рис. 68). Нижний контакт с кварцитами обычно резкий, в некоторых участках осложненный разрывами, верхний —

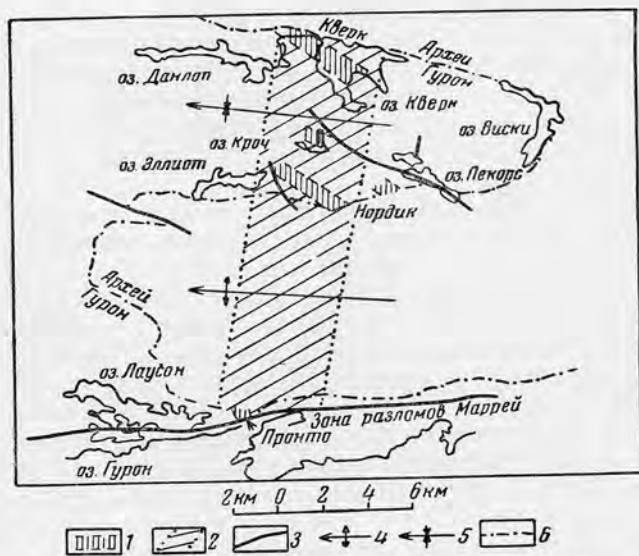


Рис. 68. Положение рудных зон в районе Блайнд-Ривер (по Д. Робертсону и Н. Стинленду)

1 — рудные зоны; 2 — полоса расположения известных рудных полей;
3 — разломы; 4 — ось антиклинали; 5 — ось синклинали; 6 — контур выходов отложений гурона

или резкий, или постепенный. Для конгломератов характерно невыдержанное простирание: вместе с перемежающимися с ними кварцитами они сменяются граувакко-аргиллитовой фацией и спорадически появляющимися прослоями валунных конгломератов, перекрывающихся полевошпатовыми кварцитами. С. В. Холмс считает, что галечники и пески, давшие начало образованию ураноносных конгломератов, отлагались в дельтовых условиях. Впоследствии эти отложения подверглись переработке и сортировке под действием прибрежных волн и течений, а затем — уплотнению и метаморфизму.

В формировании района Блайнд-Ривер С. В. Холмс выделяет следующие стадии (рис. 69):

1. Древняя архейская земная поверхность — зеленокаменные породы, сланцы.

2. Интрузия гранита с ассоциированными с ним пегматитами и кварцевыми жилами, явившимися источником браннерита россыпей.
3. Поднятие и эрозия.
4. Блоковые нарушения.
5. Образование конгломератов в конусах выноса.
6. Погружение и морская трансгрессия.
7. Образование кварцитов свиты Миссисаги.
8. Поднятие, эрозия кварцитов.
9. Сбросообразование, интрузии диабазов.

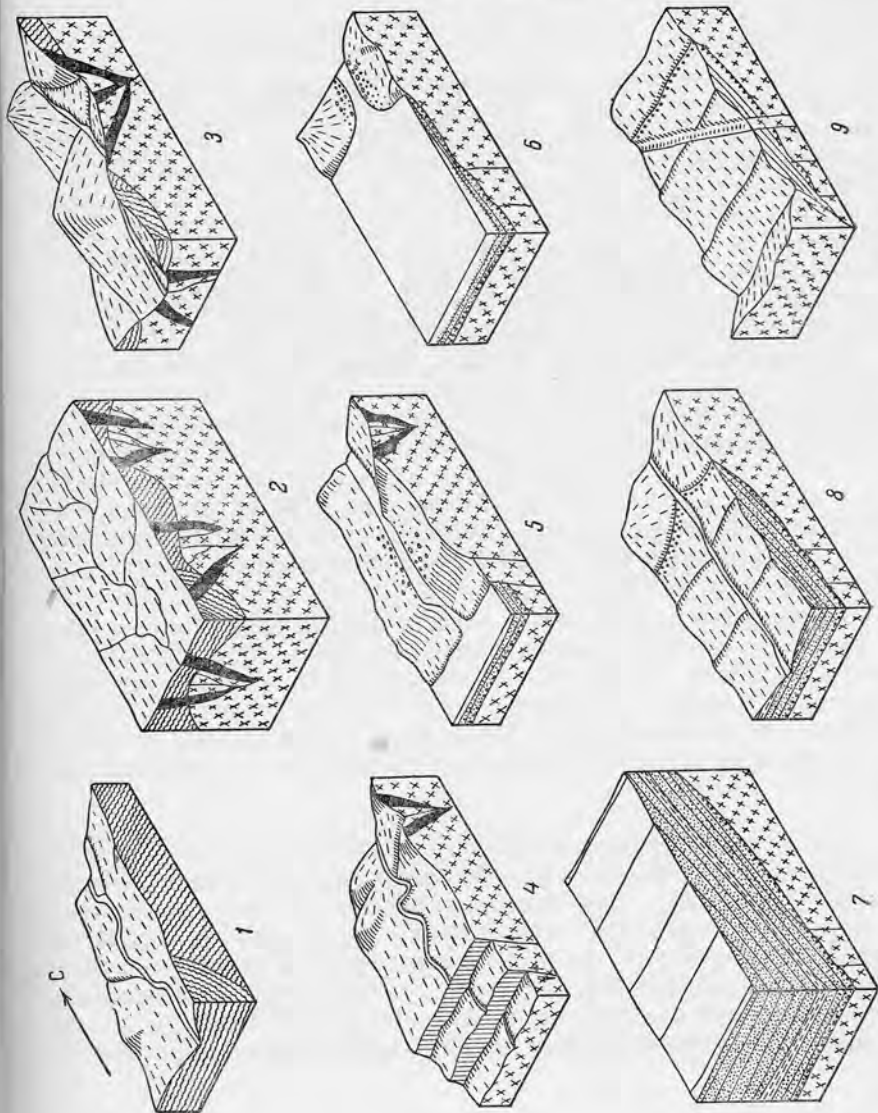
Мощность рудных пластов ураноносных конгломератов района Блайнд-Ривер составляет 3,6 м; имеются участки мощностью от 6 до 10 м. Строение пластов сложное, представленное частым чередованием конгломератовых, песчаниковых или кварцитовых линз, что характерно для речных и дельтовых фаций.

В нижнемиссисагской формации также выделяется несколько пластов рудоносных конгломератов, менее выдержанных и разведываемых обычно горными выработками. В основании граувакко-аргиллитовой фации залегают валунные конгломераты с валунами и гальками гранита, кварца, аргиллитов и зеленокаменных пород, в которых оруденение имеет пятнистый характер и связано с пиритизированными участками. По мнению Трейля, валуно-галечные конгломераты встречаются и в основании гуронской толщи, а непосредственно над ними лежат кварцевогалечные ураносодержащие конгломераты, состоящие из галек кварца и редких галек темных сланцев. Валунные конгломераты иногда содержат небольшое количество включений пород догуронского основания.

На руднике Нордик так же, как и на руднике Кверк, главный рудный пласт отличается большой выдержанностью и залегает примерно в 12 м от догуронского основания, в восточной части рудника. Конгломераты выявлены и ниже рудного пласта. Кроме того, в 3—12 м выше по разрезу прослежен прослой конгломератов с изменяющейся мощностью, содержащий уран. На руднике Пронто главный пласт залегает почти у основания гуронской толщи или вблизи него, причем в процессе эксплуатации установлена значительная его дислоцированность поперечными нарушениями. В ряде рудников наблюдаются случаи резких обрывов рудных пластов, имеющих широкое простираие.

Рудоносные кварцевогалечные конгломераты состоят из гальки белого или голубовато-серого, обычно стекловатого кварца, реже темного сланца или яшмы среди цементирующей массы, представленной мелкими зернами кварца, а также мусковитом, биотитом, пиритом и иногда углистым веществом. Галька однородна, хорошо окатана, размер ее 3—4,5 см; встречаются удлиненные гальки, ориентированные по простираанию пластов.

Рис. 69. Стадии формирования ураноносных конгломератов района Блайд-Ривер (по Холмсу)



1 — древняя архейская земная поверхность — зеленокаменные породы, сланцы; 2 — интрузия гранита с ассоциированными с ним пегматитами и кварцевыми жилами, явившимися источником браннерита россыпей; 3 — подчистые и эрозия; 4 — блоковые конгломераты в конусах выноса; 5 — образование конгломератов в конусах выноса; 6 — погружение и морозное кварцевание; 7 — образование кварцитов; 8 — поднятие и эрозия кварцитов; 9 — образование соросов, интрузии диоритов

Конгломераты с полевошпатовой галькой слабо ураноносны. Соотношение галек и цемента в конгломератах примерно 1:3.

Характерной особенностью рудных конгломератов является их сульфидизация. Среди сульфидов главную роль играет пирит, который присутствует в количестве 5—8% (по другим данным до 15%) преимущественно в цементе; встречается также по трещинкам в гальке; распределение пирита неравномерное, иногда он концентрируется вокруг галек. Из других сульфидов в незначительном количестве присутствуют пирротин, марказит, галенит, халькопирит, сфалерит, молибденит и линнеит; отмечены анатаз, торногуммит, самородное золото. В северной полосе ураноносных конгломератов распространен гематит. Из урановых минералов присутствуют браннерит, уранинит, урановая смолка и тухолит; наиболее распространен браннерит, замещающийся анатазом и торногуммитом. Гарт и Гарпер указывают, что браннерит присутствует в виде угловатых и полуокатанных зерен размером до 0,3 мм. Уранинит встречается в виде отдельных кристаллов. Урановая смолка и тухолит были встречены в тонких прожилках; отмечены также и почковидные образования урановой смолки. Монацит наблюдается в виде окатанных и полуокатанных зерен и встречается преимущественно в северной части района в полосе Кверк.

Рудные участки Кверк, Нордик, Пронто и другие были разведаны на значительном протяжении и на глубину. Размеры разведанных залежей по простиранию с выдержанным промышленным оруденением составляют от 1140 до 3900 м при мощности от 2,4 до 4 м. На глубину они разведаны по участку Пронто — до 600 м и по участку Кверк — до 1500 м. Разведанные запасы урана составляют около 300 тыс. т. Содержание урана колеблется в пределах 0,085—0,1%, снижаясь в отдельных участках лишь до 0,06%.

Интересно отметить, что в участке Друри содержание урана в рудах, по данным Трейля, падает до 0,02% при одновременном повышении содержания тория до 0,26%, что вызвано присутствием монацита. В связи с этим ставится вопрос о промышленном его использовании. В северной части района в рудах отмечено присутствие в небольших количествах молибдена, кобальта и никеля.

При рассмотрении отдельных генетических типов месторождений урана отмечалось, что многие из них связаны между собой переходными или промежуточными типами. Такие урановые месторождения отмечаются не только в пределах отдельных формаций, но и различных групп и даже различных классов месторождений. Например, такие промежуточные типы месторождений отмечаются между инфильтрационными и осадочными месторождениями; между осадочными морскими и

осадочно-метаморфизованными месторождениями. Некоторые исследователи считают образования промежуточного типа месторождения давидитовой формации и даже флюорито-карбонатный тип пегматитов; последний относят к промежуточному между пегматитами и гидротермальными месторождениями.

В связи с этим при поисках урановых руд могут быть встречены рудопроявления с неотчетливо или неполно выраженными поисковыми признаками месторождений. Чем точнее устанавливается генетический тип того или иного месторождения, тем полнее могут быть выявлены поисковые признаки и предсказаны закономерности геологического положения этого месторождения.

Геолог, изучающий месторождения урана, должен прежде всего помнить, что каждый генетический тип месторождения характеризуется своими, присущими ему геологическими особенностями, которые и определяют его поисковые признаки. Вместе с тем, следует иметь в виду, что кроме этих общих геологических особенностей при поисках урановых руд необходимо принимать во внимание также частные особенности и закономерности, касающиеся лишь отдельных рудных районов и месторождений. Они должны выявляться и учитываться при изучении каждого рудного поля и каждого месторождения урана.

СЫРЬЕВАЯ БАЗА УРАНА ОТДЕЛЬНЫХ СТРАН И УРАНОНОСНЫЕ ПРОВИНЦИИ

ПРОМЫШЛЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

Из рассмотрения генетических типов месторождений урана следует, что промышленное значение их далеко не одинаково. Некоторые типы месторождений характеризуются крупными запасами и богатыми рудами, другие — крупными, но бедными рудами урана, третьи — мелкими, но богатыми рудами. Имеются месторождения, промышленное значение которых при бедном содержании урана определяется, в конечном счете, технологией руд, возможностью комплексного их использования и общими экономическими условиями.

В настоящее время значение различных генетических типов урановых месторождений мы в состоянии показать лишь по отношению к суммарным запасам урана в месторождениях капиталистических стран. Несмотря на условность в определении запасов этих стран, такие соотношения в общем отражают близкую к действительности картину.

Приведем таблицу соотношения запасов урана по основным генетическим типам месторождений капиталистических стран.

Приведенная таблица отражает весьма приблизительное соотношение запасов урана по выделенным месторождениям и может существенно измениться в дальнейшем с открытием новых промышленных месторождений. Необходимо иметь в виду, что отнесение некоторых месторождений урана, в том числе и наиболее важных, к определенному генетическому типу не является бесспорным и общепризнанным. Это прежде всего касается месторождений в древних конгломератах, месторождений Колорадского типа и месторождений Центральной Африки, т. е. наиболее крупных месторождений. Однако нам представляется, что отнесение их к указанным выше типам, по имеющимся данным, является наиболее обоснованным.

Запасы урана капиталистических стран по главнейшим типам месторождений

Генетические типы месторождений	Промышленные запасы урана в тыс. <i>т</i>	Средн. сод. урана в %	Уд. вес суммарных запасов капит. стран в %	Примечание
Магматические	—	Низкое	—	В балансе не учитываются
Пегматитовые	8,4	0,085	0,8	
Контактово-метасоматические	7,2	0,15—0,25	0,7	
Гидротермальные метасоматические	14,3	0,1—0,3	1,4	
Гидротермальные жильного типа	64,7	0,1—0,5	6,5	
Осадочные:				
в речных и озерных отложениях	100,0	0,2—0,4	10,0	
связанные с асфальтитами	110,0	0,24	11,0	
в углях и лигнитах	10,0	0,05—0,1	1,0	Данные не полные
в морских темных битуминозных сланцах	—	Низкое	—	В балансе не учитываются
в ураноносных фосфоритах	?	"	?	То же
в песчаниках и глинах морского происхождения	24,0	0,05—0,13	2,4	Учтены не полностью
Метаморфогенные:				
в сланцах, песчаниках и карбонатных породах	?	?	?	
в древних ураноносных конгломератах	600,0	0,02—0,085	60,0	
Всего	938,6			Прогнозные запасы, кроме того, составляют несколько сотен тыс. <i>т</i>

Таким образом, запасы осадочных и осадочно-метаморфогенных месторождений составляют свыше 75% от суммарных запасов, не считая запасов урана в ураносодержащих сланцах и фосфоритах; запасы гидротермальных месторождений урана составляют всего около 8—10%. При этом подавляющая часть запасов осадочных месторождений, за исключением только место-

рождений Колорадского типа, характеризуется бедными рудами, а запасы гидротермальных месторождений связаны с рудами среднего и высокого качества, нередко допускающими их сортировку простейшими способами (Франция и др.).

Определенный интерес представляет также и соотношение запасов урана в зависимости от возраста урановых месторождений. Оказывается, что запасы этих месторождений в древних породах, в подавляющем числе случаев относящихся к докембрийскому возрасту, составляют свыше 65% от суммарных запасов балансовых руд, на руды же месторождений иного возраста падает менее 35%.

Сырьевая база урана капиталистических стран в последние годы существенно изменилась: значительно возросли разведанные запасы металла в недрах территорий Канады и США, есть основания полагать, что существенное увеличение запасов произошло также в ряде других стран в связи с открытием там новых месторождений.

Для месторождений Южной Африки большое значение имеет не столько общий прирост запасов, сколько выявление более богатых руд с содержанием окиси урана около 0,1%. Существенного увеличения запасов добилась Франция. По-видимому, возросли запасы урана в Италии, Бразилии, Чили, Аргентине. Это может существенно отразиться на увеличении добычи урана в данных странах, особенно если учесть быстроту промышленного освоения месторождений.

Австралия имеет сравнительно небольшие достижения в области расширения своей сырьевой базы урана. Незначительные результаты по разведке и выявлению запасов урана имеют также Швеция и Западная Германия. Швейцария, Англия и ряд других стран пока не добились положительных результатов в создании своей сырьевой базы урана.

При общем большом росте запасов урана в ряде стран нельзя не обратить внимание на особенности и темпы этого роста. Расширение сырьевой базы прежде всего обусловило резкое увеличение добычи урана в капиталистическом мире в 1956—1959 гг.

В последние годы наблюдалась большая концентрация производства и его расширение в целом ряде стран, особенно в тех, где выявлены значительные запасы урана: подготавливались крупные рудники, строились новые крупные фабрики и заводы и расширялись старые, небольшой производительности. Этот процесс резкого увеличения производства урана наиболее отчетливо наблюдался в США и в Канаде.

По данным журнала «Mining World», в США произведено техническое перевооружение урановой промышленности. Было предпринято расширение многих обогатительных фабрик, производительность которых увеличена до 500 *t* руды в сутки, а в ряде случаев превышает 700 *t* в сутки. Основная тенденция

урановой промышленности США — укрупнение предприятий и вовлечение в разработку крупных месторождений.

Значительно увеличились запасы урана в Канаде. Разведанные и перспективные запасы только района Блайнд-Ривер за последние годы возросли в несколько раз. Запасы урана существенно увеличены также за счет месторождения Гуннар и пегматитовых месторождений района Бенкрофт. На базе этих месторождений в Канаде построен ряд новых предприятий. Суммарная суточная производительность всех законченных и строящихся обогатительных фабрик Канады, по данным того же журнала, составляет 43 тыс. *t*.

В Южной Африке урановое производство, по-видимому, достигает максимального развития. В настоящее время здесь работают 27 рудников и 17 заводов производительной мощностью от 40 до 200 тыс. *t* руды в месяц.

Обеспеченность запасами рудника Шинколобве и других предприятий Конго и Северной Родезии нам неизвестна, но, учитывая наблюдающееся здесь резкое падение добычи урана, она сравнительно невелика. Однако не исключена возможность выявления здесь новых месторождений в пределах ураноносного медного пояса.

Из приведенной табл. 5 запасов урана капиталистических стран следует, что суммарные разведанные запасы металла в относительно богатых и бедных рудах, куда отнесены также и запасы в золотоносных конгломератах Южной Африки, составляют около 1 млн. *t*. При этом необходимо отметить, что запасы урана по некоторым важным районам, в том числе по территории Конго, являются условными; не может быть дана также полная оценка ряда новых рудных районов, например: Южной и Северной Дакоты в США, Ньюфаундленда, Экваториальной Африки, Северной Родезии, Бразилии, Чили, Аргентины, Франции и других. Нам почти совершенно неизвестны данные о месторождениях таких стран, как Турция, Иран, Филиппины. Вместе с тем можно отметить, что приведенные выше цифры суммарных запасов капиталистических стран в общем приближаются к тем данным, которые сообщались на Женевских конференциях Джонсоном, Найнингером, Ч. Девидсоном, Л. Пейном и другими исследователями.

К указанной суммарной цифре запаса урана (1 млн. *t*) можно было бы добавить запасы его в фосфоритах, которые начали использоваться для получения урана как попутного компонента, и, по-видимому, по относительно недорогой стоимости. Однако ввиду того что эти запасы очень велики, а уран из них получается только из фосфоритов Флориды, при низком извлечении металла перевод таких запасов в число балансовых следует считать преждевременным. По этой же причине в числе балансовых не учтены и запасы битуминозных сланцев Швеции.

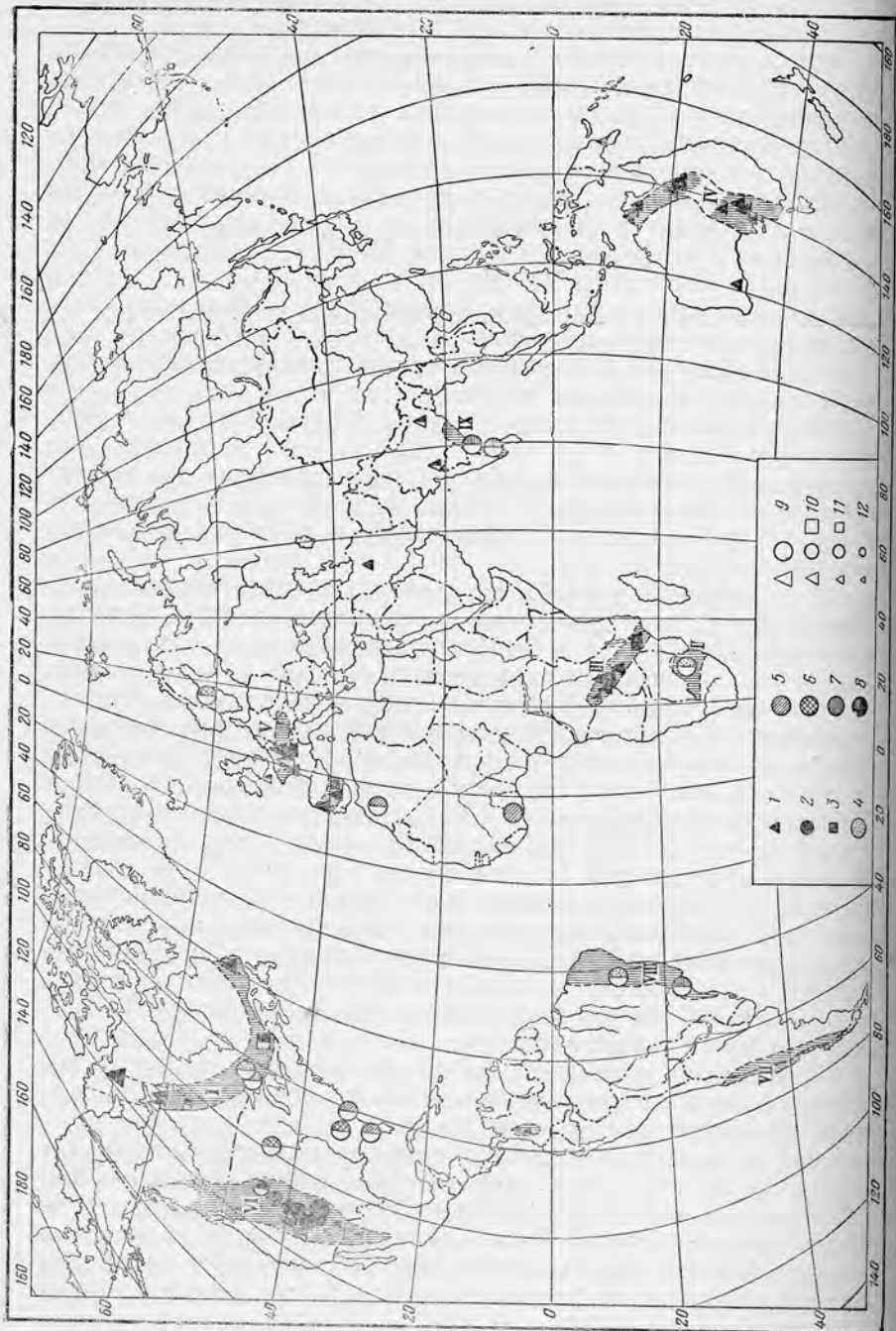


Рис. 70. Главнейшие ураноносные провинции

1 — 3 месторождения урана: 1 — гидротермальные, 2 — осадочные, 3 — пегматитовые; 4 — в древних конгломератах, 5 — в фосфоритах, 6 — в битуминозных сланцах, 7 — в российских, 8 — в песчанках (сплошная окраска — богатые месторождения, половинная — бедные); 9 — 12 — размеры месторождений: 9 — очень крупные, 10 — крупные, 11 — средние, 12 — мелкие.

Необходимо отметить, что подавляющая часть запасов урана капиталистических стран — 60% — связана с бедными и даже убогими рудами, приуроченными, однако, к месторождениям крупного и очень крупного масштаба — Витватерсранд, Блайнд-Ривер; 35% запасов приходится на более богатые руды, содержащие урана от 0,2% и выше. Запасы с очень богатыми, полупроцентными и процентными рудами составляют лишь несколько процентов.

Ураноносные провинции и эпохи рудообразования

Как известно, вопросы локализации руд в пределах месторождений и рудных полей представляют собой только одну часть изучаемых нами закономерностей проявления уранового оруденения; другую составляют вопросы пространственного размещения месторождений.

Только при комплексном изучении всех этих вопросов мы можем выявить закономерности размещения промышленного оруденения, необходимые для научного обоснования геологоразведочных работ. Например, при изучении каждого отдельно взятого месторождения и рудного поля мы обычно не в состоянии разрешить такой важный вопрос — имеется ли связь данного месторождения с распространенными возле него интрузивами, или нет, и только изучение закономерностей этого размещения ряда рудопроявлений того же типа в большом районе позволяет прийти к обоснованному выводу. То же можно сказать о выяснении связи оруденения с рудоконтролирующими разломами, о степени рудоносности различных порядков структур, о выделении рудоносных горизонтов и т. п. Вот почему геолог, изучающий то или иное месторождение урана, не может ограничиваться только его территорией и не учитывать данных региональной геологии и металлогении.

Типы ураноносных провинций

Несмотря на то что провести детальный металлогенический анализ территорий зарубежных стран в большинстве случаев, в силу недостаточности геологических и геотектонических данных, мы еще не в состоянии, все же представляется интересным и важным рассмотреть главнейшие области сосредоточения урановых месторождений и сделать некоторые

общие выводы. Такое рассмотрение даже на весьма схематической геологической основе приводит, как будет показано ниже, к целому ряду важных выводов, расширяющих наши теоретические представления о закономерностях пространственного размещения урановых месторождений.

В настоящее время намечаются два основных типа ураноносных провинций:

1. Ураноносные провинции, расположенные в пределах докембрийских щитов и древних складчатых областей.

2. Ураноносные провинции, связанные с более молодыми, послекембрийскими складчатыми зонами.

Каждый из этих типов провинций имеет свои особенности. Среди ураноносных поясов и провинций первого типа — в древних щитах и складчатых областях — можно выделить следующие (рис. 70): Канадский пояс (I), Южно-Африканскую провинцию (II), пояс Конго и Северной Родезии (III), Австралийский пояс (IV), Индийскую (IX) и Бразильскую (VIII) провинции. К числу ураноносных провинций второго типа — в послекембрийских складчатых областях — принадлежат: Западно-Европейский пояс (V), пояс Скалистых гор и Кордильер Северной Америки (VI), Чилийско-Аргентинский (Андский) пояс (VII).

Кроме этих ураноносных провинций и поясов, в дальнейшем можно будет выделить и некоторые другие, пока еще недостаточно полно охарактеризованные.

Выделение ураноносных провинций помогает выяснить региональные геологические факторы, влияющие на распределение месторождений урана, а также на закономерности их размещения в различных геотектонических зонах и областях.

УРАНОНОСНЫЕ ПРОВИНЦИИ И ПОЯСА ДОКЕМБРИЙСКИХ ЩИТОВ И ДРЕВНИХ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Канадский ураноносный пояс. Этот пояс вытянут почти от Северного Ледовитого океана до Атлантического океана, т. е. более чем на 2000 км при ширине в 200—300 км (рис. 71).

Ураноносный пояс протягивается по западной, юго-западной, южной и юго-восточной периферии Канадского щита. В его пределах располагаются главнейшие ураноносные поля и месторождения урана Канады. В северной части пояса лежит ураноносный район Большого Медвежьего озера, продолжающийся к югу до Большого Невольничьего озера, включающий месторождения Эльдорадо, Контакт, Мэриен-Ривер, Хотта и целый ряд других. Все эти месторождения гидротермального типа и принадлежат к пятиэлементной и смолково-кварц-карбонатной формациям. Они залегают в кристаллических породах докембрия — туфах, порфиритах, гранитоидах, сланцах и т. п., руды их имеют протерозойский возраст. Источники ураноносных растворов пока не установлены, но пользуется признанием точка зрения о магма-

тогенном их происхождении. Вероятна связь этих источников с верхнепротерозойским магматизмом. В районе Большого Медвежьего и Большого Невольничьего озер А. Х. Ланг выделяет несколько рудных зон и полей.

К юго-востоку от указанного района располагается другой важный ураноносный район оз. Биверлодж—Атабаски, также представленный целым рядом гидротермальных месторожде-

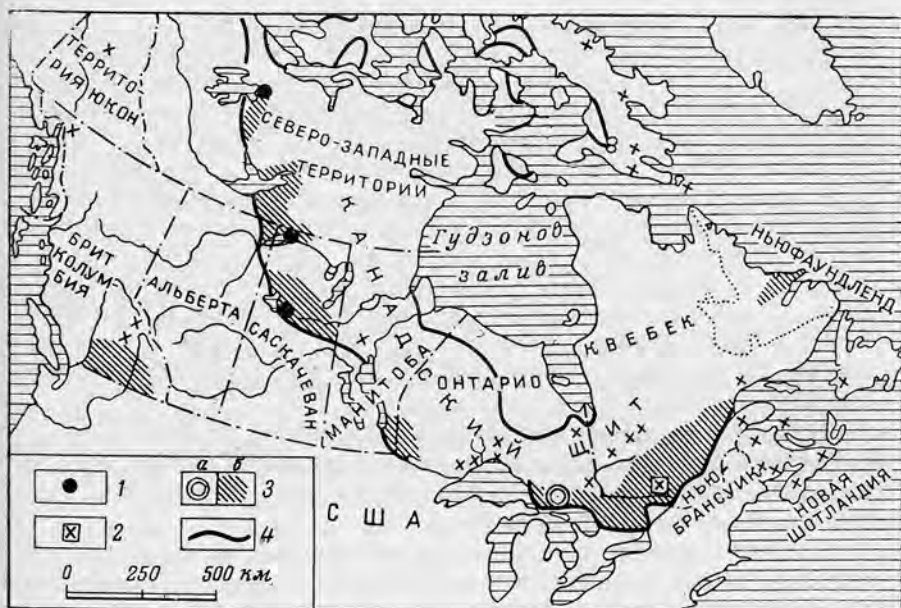


Рис. 71. Канадский ураноносный пояс. По Лангу

1 — главные районы урановых месторождений гидротермального типа; 2 — ураноносные пегматиты; 3-а — осадочно-метаморфогенные месторождения; б — площади повышенной радиоактивности; 4 — границы Канадского щита

ний, залегающих в сланцах, аргиллитах и кварцитах докембрия. Эти месторождения имеют докембрийский возраст; в отдельных случаях считается вероятным архейский возраст оруденения. В данную группу входят среднетемпературные жильные месторождения Эйс-Фей, Игл, Галч, Смитти и др. Эти месторождения в значительной мере относятся к смолково-кварц-карбонатной формации, но их металлогеническое родство с месторождениями Большого Медвежьего озера не вызывает сомнений. Состав их руд местами имеет явно переходный к рудам пятиэлементной формации характер, что выражается в присутствии арсенидов кобальта и никеля, а иногда и самородного серебра. К несколько иному типу принадлежит метасоматическое месторождение Гуннар, приуроченное к монцонитам. Очень интересен тот факт, что в этом же районе наблюдаются ураноносные пег-

матиты и мигматиты — месторождение Шарлебуа. Вероятно, было бы неправильно отвергать всякую металлогеническую связь между этими различными типами месторождений урана.

Далее к юго-востоку А. Х. Ланг отмечает целый ряд разрозненных мелких проявлений урана, в основном пегматитового типа. В районе оз. Гуроне у г. Солт-Сент-Мари известны также мелкие месторождения гидротермального типа, связанные с диабазовыми дайками.

Еще далее к юго-востоку протягивается район проявления очень крупных урановых месторождений — Блайнд-Ривер (Алгома), представленный месторождениями осадочно-метаморфогенного типа в докембрийских конгломератах. Месторождения приурочены к полосе, протягивающейся на расстояние около 40 км; подобные проявления известны и далее к востоку в полосе протяжением свыше 100 км, почти достигающей Седбери. Руды этих месторождений имеют гуронский возраст, формирование месторождений происходило за счет архейских пород. К востоку-юго-востоку от района Блайнд-Ривер расположен обширный район пегматитовых месторождений Бенкрофт, Уилберфорст и Халибартон, и лишь в некотором обособлении (как отмечает А. Х. Ланг) лежит небольшое месторождение урана гидротермального типа.

Наконец, по новейшим данным Корлетта, в крайней восточной части пояса в Лабрадоре, вблизи залива Гуз-Бей, совсем недавно обнаружено около 20 месторождений урана, характеризующихся богатыми рудами.

В целом Канадский пояс представлен различными типами месторождений древнего докембрийского возраста. Источники их оруденения имеют различный возраст, но есть основание предполагать какие-то общие предпосылки при их формировании.

Таким образом, в пределах Канадского ураноносного пояса урановые месторождения занимают различное геологическое положение, наблюдаясь в разных геотектонических зонах и структурных ярусах. Кроме того, они имеют различное время образования — от архейского (Иеллоунайф) до верхнепротерозойского включительно (Контакт).

В пределах ураноносного пояса распространены различные генетические типы урановых месторождений — пегматитовые, гидротермальные (жильные и метасоматические), представленные различными рудными формациями, а также осадочно-метаморфогенные. Местами отмечается близкое пространственное расположение пегматитовых и гидротермальных месторождений (район Биверлодж—Атабаска—Шарлебуа), причем как те, так и другие имеют магматогенное происхождение, хотя генетическая связь их с интрузивами во многих случаях четко не установлена.

Гидротермальные месторождения ураноносного пояса, в которых сосредоточены значительные запасы урана, например Эльдорадо и Контакт, несколько различаются по времени своего образования. В целом же время их образования относится преимущественно к более позднему, — верхнему протерозою, чем осадочно-метаморфогенных месторождений Блайнд-Ривер, которые формировались в гуронское время. В пределах некоторых рудных районов — Большого Медвежьего и Большого Невольничьего озер, озер Биверлодж—Атабаски, судя по определению абсолютного возраста рудных минералов, наблюдается урановое оруденение существенно различного возраста (Робинсон, Керр, Фурниволл и др.). Установлено также, что гидротермальное оруденение представлено различными урановыми формациями, тесно связанными между собой и переходящими друг в друга

Помимо урана, в пределах Канадского ураноносного пояса имеются месторождения других металлов — медные, полиметаллические, сульфидно-никелевые. С некоторыми из них связано урановое оруденение (Иеллоунайф); от других оно резко обособлено по времени образования (Седбери) и связано с разными геологическими комплексами.

Южно-Африканская ураноносная провинция. Южно-Африканская ураноносная провинция имеет меньшие по сравнению с Канадским поясом размеры, но также сосредоточивает в себе огромные запасы урана. Эта провинция расположена в южной части Южно-Африканской платформы и представлена преимущественно осадочно-метаморфогенными месторождениями Витватерсранда и Одентал-Рюст и, в меньшей мере, — пегматитовыми месторождениями, имеющими ограниченное промышленное значение.

Осадочно-метаморфогенные месторождения представлены ураносодержащими золотоносными конгломератами и протягиваются, как уже было отмечено, в виде длинной полосы полукругом, выпуклостью к северо-западу. Полоса составляет несколько сотен километров по периферии выходов толщи пород верхнего отдела витватерсрандской системы.

В северо-восточной части этой полосы расположены месторождения Северо-Восточного Ранда и Йоганнесбурга, затем Центрального и Дальнего Западного Ранда; далее, в западной части провинции, прослеживается группа месторождений Клерксдорп и, наконец, в южной части полосы, в области Одентал-Рюстского грабена — месторождения Одентал-Рюста, Велкома и Виргинии. Кроме этих месторождений, довольно широко распространены ураноносные пегматиты в бассейнах рек Бек-Рив и Куроп, а также в северо-западной части Капской провинции. Все они сформированы в докембрии, вероятно, в архее. Вполне возможно, что подобные скопления явились источником для образования ураносодержащих конгломератов.

В целом ураноносная провинция Южной Африки представлена в основном осадочно-метаморфогенными месторождениями. Гораздо меньшее значение имеют урансодержащие месторождения пегматитового типа. Характерной особенностью оруденения провинции является тесная связь золота с ураном, присутствующим в промышленных содержаниях и образующим огромные валовые запасы. Урановое оруденение провинции бедное, но общие запасы урана огромны.

Возраст месторождений, по описанию Ч. Девидсона, составляет около 2000 млн. лет (Лимпопо). Следовательно, возраст коренных источников, за счет которых могли быть сформированы первичные осадочные месторождения урана, впоследствии метаморфизованные, — архейский.

Ураноносный пояс Конго и Северной Родезии. Этот пояс, являющийся одновременно знаменитым медным поясом Конго и Северной Родезии, наряду с крупными медными месторождениями, характеризуется целым рядом урановых и урансодержащих месторождений. Среди них уникальным по высокому качеству руд является месторождение Шинколобве метасоматического типа, приуроченное к карбонатным породам.

Ураноносный пояс Конго и Северной Родезии располагается в северной части Южно-Африканского докембрийского щита и приурочен к складчатой зоне протерозоя, имеющей северо-западное простирание. Так же, как и Канадский, он протягивается более чем на 400 км, имея незначительную ширину. Урановые месторождения относятся, по всей вероятности, к гидротермальному типу и очень тесно геохимически связаны с медным и никель-кобальтовым оруденением.

Далее к северо-западу от описываемого пояса располагаются ураноносные фосфориты Того и урансодержащие золотоносные конгломераты Ганы, а к юго-востоку — месторождения давидитовой формации Мозамбика. К данному поясу, возможно, относятся также многочисленные ураноносные пегматиты и урансодержащие угли Танганьики.

Австралийский ураноносный пояс. Расположен в краевой части Австралийского щита и представлен многочисленными месторождениями, преимущественно небольшого масштаба.

В Северной части пояса располагается большой (по площади) ураноносный район Рам-Джангл с месторождениями Уайт, Дисон, Эдит-Ривер, Бродрик и др. Большинство месторождений, по-видимому, принадлежит к гидротермальному типу. Они приурочены к графитовым и другим сланцам, гнейсам и кварцитам и имеют преимущественно метасоматический характер. Здесь известны также и ураноносные пегматиты. К юго-востоку от района Рам-Джангл в Квинсленде расположен другой район — Маунт-Айза, где на площади свыше 225 км² выявлены многочисленные гидротермальные рудопроявления урана и довольно крупное месторождение Мери Кетлин скарнового

типа. Имеются также урановые проявления, относящиеся к давидитовой формации. Возраст оруденения докембрийский.

Южная часть провинции представлена также большим числом гидротермальных и пегматитовых месторождений. Наиболее крупным среди них является месторождение Рейдиум Хилл, являющееся представителем давидитовой формации.

В описываемой ураноносной провинции известны и небольшие месторождения выветривания, причем некоторые из них разрабатываются в небольшом масштабе. Имеющиеся здесь монацитосодержащие россыпи на уран не используются.

Таким образом, Австралийский пояс представлен многочисленными, сравнительно мелкими, реже средними урановыми месторождениями и имеет примерно меридиональное направление. Он опоясывает восточный край Австралийской платформы и в средней своей части перекрыт мощными мезозойскими отложениями Большого Артезианского бассейна. В пределах этого пояса урановые месторождения преимущественно представлены гидротермальным и скарновым типами и в меньшей мере — пегматитовыми, инфильтрационными, а также береговыми монацитовыми россыпями. Урановое оруденение геохимически связано с медью, например в месторождении Рам-Джангл, со свинцом и цинком — в месторождении Маунт-Айза и особенно с титаном — в месторождении Рейдиум Хилл.

Индийская и Бразильская ураноносные провинции. Обе эти провинции, расположенные в разных частях мира, характеризуются общими чертами: они являются в основном ториеносными и представлены преимущественно монацитовыми или джалмаитовыми урансодержащими прибрежно-морскими россыпями. Источником этих россыпей в обоих случаях были многочисленные ураноносные пегматиты, широко распространенные в пределах Индийского и Бразильского докембрийских щитов. В Индии известны также гидротермальные месторождения, приуроченные к докембрийским гнейсам и сланцам, но в общем довольно бедные урановыми рудами, хотя есть данные об открытии сравнительно богатых и крупных месторождений.

В Бразильской провинции значительное развитие имеет интересный тип урансодержащих циркониевых месторождений по-видимому, гидротермального происхождения, а также ураноносные древние конгломераты.

Таким образом, обе провинции характеризуются главным образом широким развитием современных прибрежно-морских урансодержащих россыпей, формирующихся за счет размыва докембрийских урансодержащих пород. Широкое развитие в обеих провинциях имеют также ураноносные пегматиты и отчасти гидротермальные месторождения урана. В Индийской провинции уран в россыпях геохимически связан с торием, а в гидротермальных месторождениях — с медью. В Бразильской провинции в коренных гидротермальных месторождениях уран тесно связан

с цирконием, а в береговых россыпях — с торием, танталом и цирконием. Некоторое распространение в этой провинции имеет также осадочно-метаморфогенный тип оруденения, где уран связан с золотом, например в месторождении Серра-да-Джакобина.

УРАНОНОСНЫЕ ПОЯСА ПОСЛЕКЕМБРИЙСКИХ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Западно-Европейский ураноносный пояс. Этот пояс включает в себя, помимо известных месторождений Рудных гор, месторождения Западной Германии, Франции и Корнуэлла (Англия). Он приурочен к позднегерцинской складчатой зоне и к связанным с последней срединным интрузивным массивам. В состав пояса входят месторождения пятиэлементной, смолково-кварц-карбонатной и смолково-флюоритовой формаций, а также осадочно-метаморфогенные и осадочные месторождения урана в сланцах и в углях, выявленные недавно в Западной Германии и в Вогезах во Франции. Время образования осадочно-метаморфогенных месторождений — кембро-силур, месторождений в ураноносных углистых сланцах — карбон, гидротермальных месторождений — пермо-триас.

Эндогенные месторождения пояса преимущественно связаны с поздней стадией развития складчатой зоны. Очень интересной закономерностью данного пояса является преимущественное сосредоточение месторождений урана среди жестких более древних массивов, зажатых внутри герцинской складчатой зоны, например, в Центральном Французском и Армориканском массивах, в Рудных горах и в других районах.

В целом Западно-Европейский ураноносный пояс приурочен к герцинской складчатой зоне. В пределах пояса интенсивно проявлены гидротермальные месторождения урана и в меньшей мере — осадочные и осадочно-метаморфогенные месторождения, образовавшиеся в различное время. Важнейшие гидротермальные месторождения обычно связаны с поздними стадиями развития этой складчатой зоны и позднегерцинскими интрузивами.

Гидротермальные месторождения распределены в пределах пояса неравномерно и сосредоточены преимущественно в жестких срединных массивах более древних пород, зажатых внутри складчатой зоны, а также среди варисских гранитных массивов. По отношению к ним оруденение является более поздним. Такие соотношения отмечены в Рудных горах, Судетах, Шварцвальде, Центральном Французском и Армориканском массивах.

Гидротермальные месторождения представлены различными рудными формациями. Некоторые из них дают между собой взаимопереходы, в частности, пятиэлементная формация переходит в смолково-кварц-карбонатную и смолково-сульфидную, смолково-кварц-карбонатная — в смолково-флюоритовую. Гидротермальные месторождения урана пространственно тяготеют

к оловянно-вольфрамовым и железисто-марганцовым месторождениям; каких-либо взаимопереходов между ними не установлено.

Ураноносный пояс Скалистых гор и Кордильер. Этот огромный рудный пояс протягивается по территории западных Штатов США и частично продолжается к северу — на территорию Канады и к югу — на территорию Мексики. Пояс захватывает также Скалистые горы, причем между Южными Скалистыми горами и Кордильерами, как известно, располагается срединный жесткий массив плато Колорадо, как бы зажатый между складчатыми зонами, развивавшимися в основном во время проявления ларамийской фазы складчатости. Главнейшие месторождения урана размещаются именно в пределах этого жесткого массива, преимущественно в его краевых частях, захваченных поздней складчатостью. Нередко они приурочены к краевым частям отдельных поднятий. Такие месторождения в большинстве своем относятся к группе осадочных и отчасти инфильтрационных. Этим данный пояс существенно отличается от Западно-Европейского ураноносного пояса.

В пределах описываемого пояса выделяются месторождения плато Колорадо, а также расположенные далее к северу месторождения ураноносных углей и лигнитов штатов Вайоминг и Южной и Северной Дакоты. Сосредоточение месторождений в таких зонах объясняется большой проницаемостью пород в трещиноватых и пересеченных разломами зонах краевых частей жесткого массива.

В складчатых частях данного пояса месторождения урана также многочисленны, но имеют гораздо меньшие размеры. Эти месторождения принадлежат в основном к гидротермальной группе и, как правило, обнаруживают явную приуроченность к массивам изверженных пород. В рудном поясе отчетливо устанавливается проявление оруденения в осадочных породах с огромными валовыми запасами металла в срединной платформенной области и гидротермального оруденения преимущественно в виде мелких скоплений различных формаций по периферии плато Колорадо. Реже отдельные гидротермальные месторождения встречаются и в пределах самого жесткого массива.

Таким образом, для данного ураноносного пояса очень четко проявлено сопряжение двух различных генетических групп месторождений урана — осадочной и гидротермальной; пегматитовые и другие месторождения имеют незначительное распространение.

В пределах пояса развиты осадочные месторождения урана, приуроченные к фосфоритам формации Фосфориа и относящиеся по времени образования к пермской системе; месторождения колорадского типа в речных отложениях преимущественно триасовой и юрской систем; месторождения в лигнитах и углях меловой и третичной систем и, наконец, многочисленные, но

сравнительно небольшие гидротермальные жильные месторождения, относящиеся по времени образования к ларамийской складчатости (раннетретичные). Среди месторождений колорадского типа имеются крупные, связанные с асфальтизированными породами, например Амброзия Лейк. Наиболее крупные месторождения сосредоточены в краевых частях плато Колорадо. Они принадлежат к типу осадочных или инфильтрационных, и лишь некоторые, располагающиеся по периферии либо за пределами плато, являются гидротермальными. Многие месторождения колорадского типа приурочены к краевым частям поднятий, возможно, связанных с ларамийскими движениями.

Чилийско-Аргентинский (Андский) ураноносный пояс. Этот ураноносный пояс прослеживается в западной части Южной Америки и представлен серией гидротермальных и отчасти экзогенных месторождений урана. Месторождения приурочены к складчатой зоне Восточных Анд, оформившейся преимущественно во время проявления фазы ларамийской складчатости. В ядрах складок выступают породы палеозоя и докембрия. Урановое оруденение связано главным образом с третичными изверженными породами. По мнению Е. Е. Терлоу, в этом поясе размещаются высокотемпературные месторождения Копиано и Ла-Серена в Чили, промышленная разработка которых недавно начата. Далее к северу, в Аргентине, в рудном районе Ева Перон известны медно-урановые и карнотитовые месторождения и еще далее к северу в провинции Мендоса — среднетемпературные месторождения со смолковым оруденением. В предгорьях Анд встречаются также месторождения выветривания, например месторождение Соберания. Продолжение пояса можно видеть далее к северу, в Перу, где смолковое оруденение обнаружено в полиметаллических месторождениях Колкак-вирка и Иезус-Мария. Урановое оруденение с никелем известно также в Билкамбамба и в месторождении меди Сан-Кристоваль.

Большинство месторождений имеет незначительный масштаб оруденения, но большое их количество и приуроченность к одной геотектонической зоне позволяет и здесь наметить ураноносный пояс. Месторождения Чилийско-Аргентинского ураноносного пояса изучены еще весьма слабо.

Кроме охарактеризованных, намечаются и другие, пока еще недостаточно изученные, ураноносные провинции и пояса. Некоторые из них, возможно, примыкают к уже выделенным.

Например, месторождения урана в Гренландии, по всей вероятности, являются продолжением Канадского пояса. По-видимому, существует Пиренейская провинция с месторождениями в Португалии и Испании, которая, возможно, смыкается с Западно-Европейским ураноносным поясом.

Некоторые обобщения о пространственном размещении месторождений урана

Из краткого рассмотрения главнейших ураноносных поясов и провинций можно сделать следующие общие выводы.

1. В распределении урановых месторождений отчетливо намечается их сосредоточение в отдельных провинциях и поясах, обусловленное, по-видимому, первичными эндогенными процессами. Провинции и пояса приурочиваются к крупным региональным геотектоническим единицам первого порядка (зонам) и обычно протягиваются в направлении их простираания.

2. Выделяются два типа ураноносных поясов и провинций:

1) приуроченные к зонам докембрийской складчатости в пределах древних щитов; 2) приуроченные к послекембрийским складчатым зонам. Размеры поясов и провинций и степень их ураноносности различны.

3. Закономерности размещения урановых месторождений внутри ураноносных провинций и поясов изучены еще недостаточно. Однако некоторые общие закономерности выступают довольно отчетливо. Кроме общих закономерностей, каждая из ураноносных провинций имеет свои особенности, обусловленные характерными чертами ее геотектонического развития.

4. Почти все ураноносные пояса и провинции характеризуются сложным геотектоническим развитием, вызванным проявлением многократных тектонических движений и многоэтапного генетически разнотипного оруденения.

Эпохи уранового рудообразования

Из рассмотрения главнейших ураноносных поясов и провинций следует, что их формирование происходило в различные периоды геологической истории, начиная от архея до позднегерцинического времени. Вместе с тем выделяется несколько эпох, в течение которых формирование урановых месторождений было особенно интенсивным. Такими основными эпохами являются: протерозойская, когда были сформированы месторождения, содержащие около 65% общих запасов урана капиталистических стран; герцинская, на которую падает до 30% запасов, и, наконец, альпийская, удельный вес месторождений которой составляет около 5% от общих запасов урана.

Таким образом, намечается уменьшение количества и размеров месторождений от древних докембрийских эпох к более молодым. Вместе с тем мы почти не знаем эндогенных месторождений, связанных с каледонской складчатостью. Нам известны, и притом в широком проявлении, лишь осадочные месторождения в черных сланцах кембро-силура, отличающиеся убогими или бедными концентрациями урана. Изучение отдельных ураноносных районов показывает, что регенерация уранового ору-

денения в результате эндогенных процессов, по-видимому, имеет небольшое значение и нет никаких оснований рассматривать в качестве главной эпохи металлогении одну герцинскую, как это предполагает Г. Шнейдерхен, или какую-либо другую металлогеническую эпоху.

Распределение типов уранового оруденения по эпохам нам представляется в следующем виде:

Верхний архей — пегматитовые и отчасти гидротермальные месторождения.

Нижний протерозой — преимущественно осадочно-метаморфогенные месторождения.

Верхний протерозой — эндогенные и осадочно-метаморфизованные месторождения.

Кембросилур — преимущественно осадочные и осадочно-метаморфогенные месторождения.

Девон-пермь — эндогенные и осадочные месторождения.

Триас — экзогенные месторождения.

Юра — преимущественно экзогенные месторождения.

Мел — эндогенные и экзогенные месторождения.

Палеоген — эндогенные и экзогенные месторождения.

Общие закономерности распределения оруденения и некоторые другие вопросы теоретического характера

Из рассмотрения особенностей отдельных ураноносных поясов и провинций можно сделать целый ряд общих выводов, имеющих важное теоретическое значение.

В качестве первого такого вывода следует отметить, что ураноносные пояса и провинции приурочиваются к крупнейшим геотектоническим зонам первого порядка, занимая в них определенное положение. При этом более ураноносными являются зоны докембрийской складчатости и краевые прогибы, а также части примыкающих к ним щитов, где развиваются крупные региональные разломы. Весьма продуктивны также зоны герцинской складчатости. Наоборот, зоны каледонской складчатости, по-видимому, малопродуктивны; крупные эндогенные месторождения в них пока неизвестны. Наконец, значительной ураноносностью характеризуются зоны альпийской, особенно ларамийской складчатости.

Следующий вывод заключается в установлении неравномерного распределения уранового оруденения в пределах ураноносных поясов и провинций, закономерности которого изучены еще недостаточно.

Оруденение гидротермального типа связано преимущественно с поздними тектоно-магматическими комплексами, среди которых главное развитие имеют послетектонические кислые граниты. Оруденение почти не наблюдается в связи с раннетектоническими основными интрузивами подкоровых очагов, которые

иногда имеют значение для локализации оруденения только как благоприятные вмещающие породы. Месторождения гидротермального типа связаны также с региональными разломами, развивающимися на стыках внутренних зон различной мобильности и особенно в срединных жестких массивах и в краевых их частях. Последние представлены не только выступами древнего фундамента, но нередко и синтектоническими гранитными массивами более раннего, чем оруденение, возраста. Вообще весьма характерной особенностью уранового оруденения является приуроченность гидротермальных месторождений урана к относительно жестким участкам земной коры, где мощность осадочных толщ небольшая.

Осадочные месторождения урана располагаются преимущественно в области развития континентальных отложений платформ или в прибрежно-морских образованиях внутренних частей подвижных геосинклинальных зон и особенно — поздних межгорных впадин.

Можно также сделать вывод о том, что в пределах одних ураноносных поясов и провинций осадочные месторождения формировались позднее, чем гидротермальные, в пределах других — раньше. Следовательно, источниками урана осадочных месторождений в последних были какие-то другие, а не гидротермальные месторождения.

Рассмотрение отдельных ураноносных поясов и провинций показывает, что урановые месторождения относятся к различным генетическим группам как эндогенным, так и экзогенным, главным образом к группе осадочных. Эта сопряженность генетически разнородных месторождений в пределах одной провинции, несомненно, не случайна. В процессе развития соответствующих геотектонических зон появление различных генетических групп месторождений урана, по-видимому, вполне закономерно и отражает смену геотектонических режимов. Следовательно, и между такими, казалось бы, принципиально различными группами месторождений, как гидротермальные и осадочные, вопреки привычным представлениям, имеется некоторая связь. На этот вопрос уже обращали внимание В. Г. Мелков, А. А. Сауков и Д. Я. Суражский, однако в достаточной мере он еще не изучен. Несомненно, имеется закономерная связь в одних случаях между пегматитовыми и послемагматическими группами месторождений, в других — между пегматитовыми, с одной стороны, и осадочно-метаморфогенными и осадочными группами месторождений, с другой, встречающимися в одних и тех же ураноносных провинциях. Особенно отчетливо проявлена связь между осадочной и гидротермальной группами месторождений плато Колорадо, в районе Саскачевана в Канаде и в других местах. При этом такая связь заключается не во взаимопереходах разных типов оруденения, а в их взаимообуслов-

ленности, т. е. в их общих источниках оруденения, или в той или иной последовательности формирования. В процессе более детального изучения отдельных провинций эти связи, несомненно, будут выявлены и изучены более полно.

Очень существенным является также вопрос о геохимических ассоциациях урана с другими элементами. Общеизвестна геохимическая связь урана с торием, цирконием и редкими землями в пегматитовых месторождениях и в прибрежно-морских россыпях, формирующихся за счет таких месторождений и монацитоносных пород. Обычна связь урана в гидротермальных месторождениях со свинцом и цинком, с медью, серебром, никелем, кобальтом и висмутом, с молибденом и золотом. Реже уран образует геохимические ассоциации с титаном и совсем редко — с сурьмой и ртутью. Интересно отметить, что уран неохотно ассоциирует с оловом и вольфрамом и, наоборот, очень охотно — с молибденом. Уран не встречается вместе с хромом и другими элементами, связанными с гипербазитами. В месторождениях осадочных пород он часто ассоциирует с ванадием, медью, фосфором и молибденом.

ЛИТЕРАТУРА

Белл К. Ж. Уран и торий в осадочных породах. Ядерная геология. Изд. иностр. лит., 1956.

Бетехтин А. Г. О поведении радиоактивных элементов при процессах образования эндогенных месторождений. Геол. рудн. месторожд., № 1, 1951.

Бетехтин А. Г. Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования. Сб. «Основн. пробл. изуч. магматог. месторождений». Изд. АН СССР, 1956.

Бетехтин А. Г. Об экзогенных процессах образования месторождений урана. Геол. рудн. месторожд., № 6, 1959.

Билибин Ю. А. Металлогенические провинции и эпохи. Госгеолтехиздат, 1957.

Вайн Д. Урансодержащие угли в США. Матер. Международн. конфер. по мирн. использ. атомн. энергии, т. 6. Геол. урана и тория. Госгеолтехиздат, 1958, стр. 525—531.

Вайн Д., Свенсон В., Белл К. Роль гуминовых кислот в геохимии урана. Тр. 2-й Международн. конфер. по мирн. использ. атомн. энергии, т. 8, Атомиздат, 1959, стр. 64—71.

Вудманс У. Взаимосвязь между урановыми месторождениями песчаникового типа и подземными водами в некоторых урановых горнопромышленных районах. Тр. 2-й Международн. конфер. по мирн. использ. атомн. энергии, т. 8, Атомиздат, 1959, стр. 100—111.

Гейбелман. Урановые месторождения в известняках. Матер. междунар. конфер. по мирн. использ. атомн. энергии, т. 6. Геология урана и тория. Госгеолтехиздат, 1958, стр. 400—408.

Гецева Р. В. К характеристике осадочно-метаморфогенного типа уранового оруденения. Сб. «Вопросы геологии урана». Атомиздат, 1957, стр. 20—36.

Гинзбург А. И. Типы редкометальных пегматитов. Разведка недр., № 7, 1957.

Глебов С. М. Радиоактивность диктионемовых сланцев. Зап. Ленингр. горн. ин-т, т. 14, 1941.

Готман Я. Д. Осадочные месторождения урана. Сб. «Геология, поиски и разведка месторождений урана». Госгеолтехиздат, 1955, стр. 169—190.

Гриффит Д., Ланг А., Робинсон С., Роско С., Стиси Х. Типы месторождений радиоактивных минералов и запасы руд в Канаде. Тр. 2-й Международн. конфер. по мирн. использ. атомн. энергии, т. 8, Геология атомного сырья. Атомиздат, 1959, 209—217.

Грицаенко Г. С., Белова Л. Н., Гецева Р. В., Савельева К. Т. Минералогические типы зон окисления гидротермальных урановых и сульфидноурановых месторождений СССР.

Труды 2-й Международн. конфер. по мирн. использ. атомн. энергии, т. 3, М., Атомиздат, 1959, стр. 68—84.

Данчев В. И. и др. Об урановом оруденении в карбонатных осадочных породах. Геол. рудн. местор., № 6, 1959, стр. 27—38.

Денсон Н. и Гилл И. Урансодержащие лигниты и их отношение с вулканическими туфами восточных районов штатов Монтана и Дакота. Матер. Междунар. конфер. по мирн. исполъз. атом. энергии, т. 6. Геология урана и тория. Госгеолтехиздат, 1958, стр. 538—573.

Деррикс Ж. Ж. и Ваэс Ж. Ф. Месторождение урана в Шинколобве. Матер. Междунар. конфер. по мирн. исполъз. атом. энергии. Госгеолтехиздат, 1956, стр. 432—441.

Джубен Д. А. Региональная способность пропускания осадочных пород плато Колорадо и ее влияние на размещение урановых месторождений. Сб. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, 1956, стр. 432—441.

Домарев В. С. Геология урановых месторождений капиталистических стран. Госгеолтехиздат, 1956.

Изаксен Я. В. Геология урановых месторождений в формациях Шайнарарамп и Чинд плато Колорадо. Сб. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, 1956, стр. 396—420.

Казиков А. В. Фосфоритовые фации и генезис фосфоритов. Сб. «Геологические исследования агрономических руд СССР». Тр. Науч.-исслед. ин-та удобрения, 1937, стр. 100—109.

Карпенко В. С. Явления метаморфизма урановых руд. Сб. «Вопросы геологии урана». Атомиздат, 1957, стр. 5—10.

Кац Д. и Рабинович Б. Химия урана. Изд. иностр. лит., 1954.

Келли В. К. Влияние региональной структуры на генезис и распределение урановых месторождений на плато Колорадо. Сб. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, 1956, стр. 421—431.

Керр П. Ф. Месторождения урана и тория. Сб. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, 1956, стр. 119—219.

Клеппер М. Р., Уайт Г. Урановые провинции. Сб. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, 1956, стр. 7—24.

Конент Л. Условия накопления чаттанугских сланцев. Кн. «Матер. Междунар. конфер. по мирн. исполъз. атом. энергии», т. 6, Геология урана и тория. Госгеолтехиздат, 1958, стр. 356—364.

Константинов М. М. Поиски урановых руд в зарубежных странах. Разведка недр, № 4, 1955, стр. 51—59.

Константинов М. М., Куликова Е. Я. Урановые провинции. Атомиздат, 1959.

Котляр В. Н. Сырьевая база урана капиталистических стран. Сб. «Вопросы геологии и сырьевой базы урана капиталистических стран». Изд. ВНИИ АН СССР, 1959.

Котляр В. Н. О генезисе древних ураноносных конгломератов. Там же.

Котляр В. Н. и Кристалльный Б. В. Генетические типы тория капиталистических стран. Госгеолтехиздат, 1957.

Крейчмен Д. Региональные критерии поисков урана. Тр. 2-й Междунар. конфер. по мирн. исполъз. атом. энергии. Геология атомного сырья, т. 8. Атомиздат, 1959.

Ларсен Е. С., Фейер Ж. Распределение урана и тория в интрузивных породах. Кн. «Ядерная геология». Изд. иностр. лит. 1956, стр. 104—133.

Ларсен Е. С., Фейер Ж., Готтфрид Д., Смит В. Уран в магматической дифференциации. Сб. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, 1956, стр. 53—72.

Либенберг У. Условия залегания и теория происхождения урановых минералов и золота в рудах Витватерсранда. Тр. 2-й Междунар. конфер. по мирн. исполъз. атомн. энергии. Геология атомного сырья, т. 8, 1959, стр. 377—932.

Лукин Л. И. и Союшкин Е. П. Структуры гидротермальных урановых месторождений и некоторые вопросы их изучения. Изв. АН СССР, сер. геол., № 3, 1958, стр. 3—15.

Мак-Келви В. Е. Уран в фосфатных породах. Матер. Междунар. конф. по мирн. использ. атомн. энергии в Женеве, т. 6, Госгеолтехиздат, 1958.

Мак-Келви В. Е., Эверхард Д. Л., Гарелс Р. М. Обзор гипотез о генезисе урановых месторождений. Сб. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, 1956.

Мак-Келви В. Е., Эверхард Д. Л., Гарелс Р. М. Происхождение урановых месторождений. Проблемы рудных месторождений. Изд. иностр. лит., 1958, стр. 582—586.

Манская С. М., Дроздова Т. В., Емельянова М. П. Связывание урана гуминовыми кислотами и милао-идинами. Геохимия, № 8, 1956.

Мартисон К., Велин Э. Урановая минерализация в железных рудах Центральной Швеции. Тр. 2-й Междунар. конфер. по мирн. использ. атом. энергии. Геология атомного сырья. Атомиздат, 1959, стр. 342—377.

Мелков В. Г., Пухальский Л. Н. Поиски месторождений урана. Госгеолтехиздат, 1957.

Найтингер Д. И. Уран в изверженных породах в США. Сб. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, 1956, стр. 73—94.

Пелымский Г. А. О влиянии вмещающих пород на процессы рудоотложения в гидротермальных месторождениях урана. Геология рудных месторождений, 1959, стр. 39—51.

Рафальский Р. П. Экспериментальные исследования условий переноса и отложения урана гидротермальными растворами. Тр. 2-й Междунар. конфер. по мирн. использ. атом. энергии, т. 3, Атомиздат, 1959, стр. 33—53.

Рафальский Р. П. и Кандыкин Ю. М. Некоторые экспериментальные данные по кристаллизации двуокси урана в гидротермальных условиях. Геология рудных месторождений, № 1, 1960, стр. 98—106.

Рехарский В. И. О поведении урановой смолки при воздействии фторсодержащих гидротермальных растворов. Геология рудных месторождений, 1960, стр. 92—98.

Рожкова Е. В., Разумная Е. Г., Серебрякова М. Б., Щербак О. В. Роль сорбции в концентрации урана в осадочных породах. Докл. 2-й Междунар. конфер. по мирн. использ. атом. энергии, т. 3, Атомиздат, 1959.

Рассел К. Т. Связь урановых месторождений с нефте- и газоносными структурами. Тр. Междунар. конфер. по мирн. использ. атом. энергии, т. 8, Геология атомного сырья. Атомиздат, 1959, стр. 80—92.

Роско и Стиси. Геология и радиоактивные месторождения района Блайнд-Ривер. Там же. 1959.

Рубо М. Месторождения урана во Франции. Матер. Междунар. конфер. по мирн. использ. атом. энергии, т. 6, Госгеолтехиздат, 1958.

Старик И. Е. и Колядин Л. Б. Об условиях существования урана в океанической воде. Геохимия, № 3, 1957, стр. 204—213.

Суражский Д. Я. Генетические типы промышленных месторождений урана. Атомная энергия, № 2, 1956.

Суражский Д. Я. Методы поисков и разведки месторождений урана. Атомиздат, 1960.

Таусон Л. В. К геохимии урана в гранитоидах Черковинского массива. Геохимия, № 3, 1956, стр. 9—17.

Токарев А. Н. и Щербakov А. В. Радиогидрогеология. Госгеолтехиздат, 1956, стр. 57—121.

Уикс А. Минералогия и окисление урановых руд плато Колорадо. Матер. Междунар. конфер. по мирн. использ. атом. энергии, т. 6, Госгеолтехиздат, 1958.

Ферсман А. Е. Геохимия, т. IV, Изд. Хим. лит. 1939.

Хейл и др. Уран в асфальтсодержащих породах. Матер. Междунар. конфер. по мирн. использ. атом. энергии, т. 6, Госгеолтехиздат, 1958.

Хилперт Л. С., Менч. Месторождения урана в южной части бассейна Сан-Хуан, Нью Мексико. Тр. 2-й Междунар. конфер. по мирн. использ. атом. энергии. Геология атомного сырья. Атомиздат, 1959.

- Шумейкер. Месторождения урана в диатремах, резерваций Навахо в Хоппи. Матер. Междунар. конфер. по мирн. исполъз. атом. энергии, т. 6, Госгеолтехиздат, 1958.
- Щербина В. В. Поведение урана и тория в условиях сульфатно-карбонатной и фосфатной сред зоны гипергенезиса. Журн. Геохимия, № 6, 1957, стр. 493—507.
- Щербина В. В. и Игнатова Л. И. Образование и растворение отенита. Геохимия, № 2, 1956.
- Эверхард Д. Л. Жильные месторождения урана в США. Сб. Геология атомно-сырьевых материалов. Госгеолтехиздат, 1956, стр. 238—254.
- Эверхард Д. Л. Обзор нерешенных проблем и новых направлений в геологии урана. Тр. 2-й Женевской конфер. по мирн. исполъз. атомн. энергии. Геология атомного сырья. Атомиздат, 1959.
- Янишевский Е. М. и Константинов В. М. О влиянии тектонических и литологических факторов на локализацию гидротермального уранового оруденения в Рудных горах. Геология рудных месторождений, № 6, 1960, стр. 38—45.
- Bateman J. D. Recent uranium development in Ontario. *Econ. Geol.*, v. 50, No 4, pp. 361—372, 1955.
- Bateman J. D. Uranium-bearing auriferous reefs at Jacobina, Brasil. *Econ. Geol.*, v. 53, No 4, pp. 417—425, 1958.
- Breger Y. A., Deul M., Meyrowitz R. Uraniferous subbituminous coal. *Econ. Geol.*, No 6, 1955.
- Brock B. B., Nel L. T. and other. Uranium in South Africa. *Johansbourg*, v. 12, 1957.
- Brouning D. K. Ontario Annual Review. *Canad. Mining J.* 79, No 2, 117—118, 1958.
- Chevét J. Contribution a l'étude des minéraux secondaires d'uranium. *Français Science de la Terre*, 3, No 1—2, 1—189, 1955.
- Davidson C. F. The mineralization of the Witwatersrand. *Mining. Mag.*, March, 1955.
- Davidson C. F. On the occurrence of uranium in ancient conglomerates. *Econ. Geol.*, v. 52, 668—693, 1957.
- Graton L. C. Hydrothermal origin of the Rand gold deposits. *Econ. Geol.*, 25, Suppl. 1—185, 1930.
- Grüner J. W. Concentration of uranium in sediments by multiple magmatic accretion. *Econ. Geol.*, No 6, 1956.
- Grüner J. W. Uranium in sedimentary rocks. *Mining. Mag.* v. 47, No 3, 1957.
- Joung P. A tour of the gold-uranium mines in South Africa. *West Miner and Oil Rev.*, 28, No 11, 1955.
- Jill I. E. Structural geology of Canada. *Sympos.* 19.
- Isachsen V. W., Mitcham T. W., Wood H. B. Age and sedimentary environments of uranium host rocks Colorado Plateau. *Econ. Geol.*, v. 50, No 2, 170—178, 1955.
- Holms S. W. The Pronto mine. *Geology. West. Miner and Oil Rev.* July, 121—124, 1956.
- Holms S. W. Uranbearing conglomerates of Blind River district. *Mining J.*, 79, No 4, pp. 103—108, 1958.
- Keely L. The Bicroft pegmatites. *Canad. Mining J.* 77, No 6, 87—88, 1956.
- Kervella F. Les gisements uranifères dans les formations sédimentaires en France et dans l'Union française. (1, 2, 3, 4 p.) *Bull. inform. scient. et techn. Commiss. énergie atom.*, No 19, 16—31, 1958.
- Lenoble A. Caractères géologiques des gisements français d'uranium. *Rev. ind. minéraux*, 41, No 1, 61—77, 1959.
- Matheson R. S. and Searl R. A. Mary Kathleen uranium deposit. *Econ. Geol.*, 51, No 6, 528—540, 1956.
- Mckelvy A. E., Nelson J. M. Characteristics of marine uranium-bearing sedimentary rocks. *Econ. Geol.*, No 1, 1950.

Mitcham T. W., Ivensen C. G. Uranium ore guides Monument Valley District Ariz. Econ. Geol., v. 50, No 2, 170—178, 1955.

Miller L. J., Kerr P. F. Progress report on the chemical environment of pitchblende. Tech. Inf. Serv. Tenn., 1954.

Mullens T. E., Freeman V. L. Lithofacies of the Solt Wach member of the Morrison formation, Colorado Plateau. Bull. Geol. Soc. Amer., v. 68, april, 505—526, 1957.

Moore F. B., Covender W. S., Kaiser E. P. Geology and uranium deposits of the Caribon area, Boulder County, Colorado. Geol. Surv. Bull., No 1030, 517—552, 1957.

Mrna F., Pavlu D. Několik poznámek k teorii rudodárných rostoků na podkladě studia Ag-Bi-Co-Ni formace Yachymove. West Ustred. ustavu geol. 33, No 4, 235—244, 1958.

Page L. R. Uranium in pegmatites. Econ. Geol., v. 45, 12—34, 1950.

Parkins L. W. and Glasson K. R. Geology of the Radium Hill uranium mine, South Australia. Econ. Geol., v. 49, No 8, 815—825, 1954.

Ramdohr P. Neue Beobachtungen an Erzen des Witwatersrands in Sudafrica und ihre genetische Bedeutung. Abh. d. Deutsche Acad. der Wissenschaften Berl. No 5, 1954.

Ramdohr P. Ein Gold und Uranlagerstätten des Witwatersrands in einem Vergleich mit den neuen Uranvorkommen in Blind River District. Geol. 10, No 4—5, 35—37, 1958.

Rammerfield B. Birth of a new industry. Mines. Mag. 47, No 10, 1957.

Reh H. Der „Größere Witwatersrand als Uranproduzent“ Zeitschr. f. ang. Geol. H. 7, 290—298, 1956.

Rowe R. B. Pegmatitic lithium deposits in Canada. Econ. Geol., v. 49, No 5, 501—515, 1954.

Schnellman G. A. Chemical and metallurgical minerals phosphates, Min. J. Ann. rev., 65—74, 1957.

Sommerlatte H. W. Mineralogical observation on Witwatersrand ores. Mining Mag., 93, No 3, 142—152, 1955.

Szalay S. The enrichment of uranium in some brown coal in Hurgury. Acta Geol. Acad. Hung. II, 3—4, 1954.

Tripp R. M. Trends in the philosophy of occurrence and exploration for uranium. Min. Congr. J., 42, No 7, 1956.

West Miner and Oil Rev. 30, No 5, 1957.

Wright R. J. Ore the controls in sandstone uranium deposits of the Colorado Plateau. Econ. Geol., v. 50, No 2, 135—195, 1955.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
<i>Глава первая. Общие сведения</i>	<i>5</i>
Некоторые исторические данные	5
Геохимические особенности урана	5
Распространение урана в земной коре	7
О поведении урана при различных геологических процессах	10
Некоторые обобщения по геохимии урана	11
Главные минералы урана	12
Окислы (13). Гидроокислы и уранаты (14). Силикаты и гидро- силикаты (15). Сульфаты (16). Карбонаты (17). Фосфаты, арсе- наты, ванадаты (урановые слюдки) (17). Органические соедине- ния (18). Окислы и силикаты тория, содержащие уран (18)	
Сложные окислы урана, титана, железа, тория, редких земель (18)	
Некоторые обобщения по минералогии урана	20
Классификация урановых месторождений	20
<i>Глава вторая. Класс I. Эндогенные месторождения урана</i>	<i>24</i>
Группа I. Магматические месторождения	24
Группа II. Пегматитовые месторождения	25
Геологическое положение месторождений (25). Возраст место- рождений (26). Связь с массивами изверженных пород (27). Вмещающие породы (28). Роль геологической структуры (28). Расположение и морфология пегматитовых тел (29). Строение и текстурные особенности пегматитовых тел (29)	
Подгруппа 1. Гранитные пегматиты	30
Слюдоносные пегматиты (30). Тантало-ниобиевые и титано-тан- талло-ниобиевые пегматиты (31). Бериллиеые пегматиты (32). Литиевые пегматиты (32). Кальцит-флюоритовые пегматиты с магнетитом и гематитом (32). Пегматитизированные мигма- титы (37)	
Подгруппа 2. Нефелинсженитовые пегматиты	38
Пироклоровые пегматиты (38). Циркониевые пегматиты (38). Некоторые обобщения по пегматитовым месторождениям урана и поисковые признаки их (38)	
Группа III. Контактново-метасоматические (скарновые) место- рождения	39
Группа IV. Гидротермальные месторождения	44
Время образования месторождений и их геологическое положе- ние (45). Вмещающие породы и их роль в образовании место- рождений (46). Изменение вмещающих пород (47). О химизме	

растворов и формах переноса в них урана (49). Способы и условия отложения руд (51). Роль геологической структуры и глубина распространения промышленных руд (51). Стадийность минералообразования (57)	
Подгруппа 1. Высокотемпературные месторождения	57
Давидовитовая формация (58). Золото-молибденовая формация с ортитом, монацитом и уранинитом (60)	
Подгруппа 2. Средне- и низкотемпературные месторождения	61
Железо-урановая формация (61). Медно-урановая формация с никелем, кобальтом и селеном (65). Смолково-сульфидная формация (71). Уран-никель-кобальт-серебро-висмутитовая (пятиэлементная) формация (78). Смолково-карбонатная и смолково-кварц-карбонатная формации (87). Смолково-флюоритовая формация (101). О других рудных формациях и генетических типах гидротермальных месторождений урана (108). Некоторые обобщения по гидротермальным месторождениям урана (109)	
Поисковые признаки гидротермальных месторождений урана	112
<i>Глава третья. Класс II. Экзогенные месторождения урана</i>	114
Группа I. Месторождения выветривания	116
Подгруппа 1. Зона окисления урановых месторождений	116
Общие условия развития зоны окисления (116). Значение основных факторов в развитии зоны окисления (118). Общий ход развития зоны окисления (119). О глубине зоны окисления и о вторичной зональности (121). Значение зоны окисления при поисках и оценке урановых месторождений (122)	
Подгруппа 2. Инфильтрационные месторождения	123
Некоторые обобщения по месторождениям выветривания урана (126)	
Группа II. Осадочные месторождения урана	127
Первичные источники урана при образовании осадочных месторождений (127). Значение различных стадий осадочного процесса в формировании месторождений урана (129). Способы и условия осаждения урана из растворов (130). Классификация осадочных месторождений урана (132)	
Подгруппа 1. Месторождения, приуроченные к речным, озерным и болотным отложениям	133
Месторождения в речных конгломератах и песчаниках (133). Месторождения в озерных и болотных отложениях (150). Месторождения в каменных углях и лигнитах (153). Месторождения в породах, обогащенных асфальтовым веществом (161). Некоторые обобщения по месторождениям урана в речных, озерных и болотных отложениях и их поисковые признаки (167)	
Подгруппа 2. Россыпные месторождения — прибрежно-морские, дельтовые и дюнные россыпи	169
Подгруппа 3. Месторождения в морских отложениях	172
Месторождения в песчаниках (172). Месторождения в глинах с рыбными остатками (174). Месторождения в битуминозных сланцах (176). Месторождения в фосфоритах (179). Месторождения в карбонатных породах (184). Некоторые обобщения по осадочным месторождениям урана морского происхождения (185)	

	Стр.
<i>Глава четвертая. Класс III. Метаморфогенные месторождения урана</i>	187
Месторождения в углисто- и кремнисто-глинистых сланцах и карбонатных породах	188
Древние ураноносные конгломераты	191
<i>Глава пятая. Сырьевая база урана отдельных стран и ураноносные провинции</i>	220
Промышленное значение различных генетических типов месторождений урана	220
Ураноносные провинции и эпохи рудообразования	225
Типы ураноносных провинций (225). Ураноносные провинции и пояса докембрийских щитов и древних складчатых областей (226). Ураноносные пояса послекембрийских складчатых областей (232)	
Некоторые обобщения о пространственном размещении месторождений урана	235
Эпохи уранового рудообразования	235
Общие закономерности распределения оруденения и некоторые другие вопросы теоретического характера	236
Литература	239

КОТЛЯР ВАСИЛИЙ НИКИТИЧ

ГЕОЛОГИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ
ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

Редактор *С. Ф. Лугов*
Редактор издательства *С. В. Овчинникова*
Технический редактор *В. В. Быкова*
Корректор *А. П. Гальцова*

Сдано в набор 11/III 1961 г. Подписано к печати
20/VI 1961 г. Формат бумаги 60×90^{1/16}. Бум. л. 7,75.
Печ. л. 15,5. Уч.-изд. л. 15,75. Т-07926. Тир. 7000 экз.
Зак. 3/268. Цена 65 коп.

Ленинградская типография Госгортехиздата
Ленинград, ул. Салтыкова-Щедрина, 54