

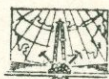


ПРОМЫШЛЕННЫЕ
ТИПЫ
УРАНОВЫХ
МЕСТО/
РОЖДЕНИЙ
И МЕТОДИКА
ИХ
ПОИСКОВ

Недра

ПРОМЫШЛЕННЫЕ
ТИПЫ
УРАНОВЫХ
МЕСТО-
РОЖДЕНИЙ
И МЕТОДИКА
ИХ
ПОИСКОВ

4677



Ленинград «Недра»
Ленинградское отделение
1984



Промышленные типы урановых месторождений и методика их поисков/ Ю. М. Шувалов, С. В. Бузовкин, А. В. Булычев и др.—Л.: Недра, 1984.— 263 с.

Рассмотрены общие вопросы геологии урановых месторождений, характеризуются их важнейшие типы и особенности формирования в щитах, подвижных поясах и чехлах древних и молодых платформ. Применительно к указанным обстановкам рассматриваются: а) главные геолого-структурные особенности локализации месторождений урана; б) геологические предпосылки и поисковые критерии; в) радиометрические, геохимические и другие методы поисков уранового оруденения, а также методы оценки радиометрических аномалий, выявленных при проведении геологосъемочных, аэрогеофизических, гидрогеологических и поисково-разведочных работ на различные полезные ископаемые.

Для геологов производственных и научных организаций, ведущих поиски урана попутно с изучением и поиском других полезных ископаемых.

Табл. 9, ил. 41, список лит. 116 назв.

Авторы: Ю. М. Шувалов (науч. ред.), С. В. Бузовкин, А. В. Булычев, В. Д. Алексеенко, Е. Б. Высокоостровская, Б. Б. Голубев, О. Д. Горбунов, К. А. Григорьев, Г. В. Дитмар, В. В. Дунаев, И. Ф. Ермаков, Я. М. Кисляков, М. В. Колесов, Г. Б. Кочкин, А. И. Краснов, С. Н. Немцов, Г. Я. Островская, М. Д. Пельменев, Г. П. Полуаршинов, В. К. Титов, Е. М. Шмариович, Г. А. Шмонов, Г. М. Шор, Л. Н. Щербаков

Рецензент — д-р геол.-минерал. наук. проф. П. А. Строна (ЛГИ)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дефицит для многих стран нефти, газа и каменного угля стимулировал появление долгосрочных программ развития атомной энергетики. Это резко усилило спрос на уран как на сырье для атомных станций и привело к резкому расширению поисков новых месторождений урана во всем мире.

В планах развития народного хозяйства СССР также предусматривается резкое увеличение темпов строительства атомных и тепловых станций. Обеспечение атомной энергетики сырьем требует от советских геологов повышения эффективности прогнозирования и целенаправленности поисков новых месторождений урана в освоенных горно-рудных районах и выявления новых перспективных районов.

Решить эту задачу предстоит в условиях, когда фонд легкооткрываемых урановых месторождений в значительной мере исчерпан. Требуется резко усилить внимание к выявлению слепых месторождений, к более тщательному анализу проявленности признаков уранового оруденения на поверхности в ореолах и в измененных породах. Эта работа будет наиболее эффективно выполнена при условии привлечения к поискам месторождений урана более широкого круга геологов. Для успешного проведения этих работ они должны быть вооружены знаниями основных особенностей геологии урановых месторождений.

С этой целью для геологов, ведущих поиски урана попутно с проведением других видов геологических исследований, и подготовлена эта работа. В ней в сжатой форме дается описание геохимических особенностей урана, приводится классификация главнейших типов промышленных месторождений, кратко рассматриваются закономерности размещения урановорудных месторождений. В трех главах рассматриваются особенности строения различных месторождений. Отдельные главы посвящены рассмотрению геологических предпосылок и поисковых признаков месторождений, принципам выделения радиоактивных аномалий, методикам радиометрических и радиогеохимических поисков и выделению радиоактивных аномалий при проведении главнейших видов съемки, поисков и разведки полезных ископаемых, выбору рационального комплекса и методике предварительной и детальной оценки выявленных в процессе работ рудопроявлений урана. Главное внимание сосредоточено на описании геологических особенностей месторождений в типических геологических обстановках.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ УРАНА

Уран — литофильный элемент. Литофильные свойства его выражаются в тесном родстве к кислороду и отсутствии в природе его сернистых и мышьяковистых соединений. Он встречается только в виде окисных соединений шести- и четырехвалентной формы. В природе известно три изотопа урана, распределенные следующим образом, %: ^{238}U — 99,2739, ^{235}U — 0,7205, ^{234}U — 0,0056. При этом на урановородных месторождениях нередко наблюдается обогащение или обеднение руд тем или иным изотопом.

Относительно высокое содержание урана в земной коре объясняется его четным порядковым номером и положением в максимуме кривой распространенности элементов.

Среднее содержание урана в разных слоях земной коры и верхней мантии (по А. А. Смыслову [1974])

Слой	Содержание, 10^{-4} %
Осадочный	2,8
Гранито-метаморфический (зеленсланцевая и эпидот-амфиболитовая фации)	4,2
Диорит-трахиандезитовый (амфиболитовая и гранулитовая фации)	2,1
Базальтовый	0,8
Верхняя мантия (состав и радиоактивность каменных метеоритов)	0,014

Примечание. Приведена характеристика двух типов гранито-метаморфического слоя.

Высокое родство к кислороду и способность легко образовывать комплексные соединения с карбонатами, фосфатами и сульфатами объясняют его высокую подвижность в верхней части земной коры, широкое участие в магматических и метаморфических процессах, осадконакопления, химическом и физическом выветривании.

Остановимся на кратком рассмотрении геохимии урана в литосфере, гидросфере и биосфере, так как закономерности распределения, миграции и концентрации урана в этих сферах определяют многие закономерности формирования и размещения различных типов урановородных месторождений.

1.1. Геохимия урана в литосфере

Уран в осадочных породах присутствует повсеместно: в урансодержащих акцессорных минералах, в виде изоморфной примеси в кристаллических решетках неурановых минералов (например, апатите, цирконе или других минералах), в минералогически не выраженных формах в связи с органическими остатками либо сорбированным на поверхностях кристаллов.

Наиболее значительные по масштабам и концентрации скопления урана выявлены в морских фосфоритах и углеродсодержащих морских черных сланцах.

В пределах фосфоритоносной пермской провинции Сѳверной Америки, в штатах Юта, Вайоминг, Айдахо и Монтана, они занимают 390 тыс. км². Эта провинция сформировалась в пределах мнѳгеосинклиналиной области. Основная же масса фосфоритов, в том числе и ураноносных, сформировалась на платформах. К этой группе относятся верхнемеловые — палеогеновые фосфориты по окраинам Аравийско-Сахарской плиты, позднѳнеогеновые фосфориты Флориды в США и в ряде других районов. Ураноносны преимущественно платформенные фосфориты. Содержание урана в них обычно от первых тысячных долей процента до 0,01—0,03 %. Главными носителями урана являются фосфаты кальция типа фтор-апатита, в кристаллическую решетку которого изоморфно входит уран. Содержание урана в фосфоритах связано с наличием в них органического вещества (от долей процента до 10—15 %). Вместе с ураном в фосфоритах ряда провинций (например, Фосфории) присутствуют ванадий и редкие земли.

Ураноносные углеродсодержащие черные сланцы выявлены на обширных территориях. Примером могут служить диктионемовые сланцы Европы, квасцовые сланцы Швеции, углеродсодержащие сланцы провинции Чаттануга (США). Содержание урана в них от первых десяти тысячных до первых десятых долей процента при среднем для квасцовых сланцев Швеции 0,02 и сланцев Чаттануги 0,006 %. Для этих отложений характерен теснейший парагенезис урана с органическим веществом и часто фосфатами. Наряду с ураном углеродсодержащие черные сланцы обогащены ванадием, молибденом, редкими землями, барием — $n(0,001 \div 1,0)$ %, никелем, медью, цинком, селеном, хромом, титаном — $n(0,01 \div 0,1)$ %, свинцом, мышьяком — $n(0,0001 \div 0,01)$ %, серебром и рением — $n(0,001 \div 0,001)$ %. По данным Б. Б. Голубева и Г. В. Нехорошева [Металлогения урана. . ., 1980], около 60 % урана в черных сланцах, за исключением углеродисто-фосфатных пород, находится в легкоизвлекаемой форме.

Накопление повышенных содержаний урана отмечается и в других осадочных образованиях, обогащенных органикой: песчаниках, сланцах, алевролитах, конгломератах, сформировавшихся в различных геологических условиях. При этом выделяются сингенетические и эпигенетические концентрации урана. Одним из важнейших носителей урана в углях, торфяниках, черных сланцах и отчасти фосфоритах является органическое вещество гумусового ряда. Необходимо отметить, что для почв различных климатических зон характерны низкие содержания урана.

Примером крупных аккумуляций урана в аксессуарных минералах служат морские и континентальные россыпные месторождения уран- и торийсодержащего монацита в Индии и Бразилии.

Содержание урана в магматических породах колеблется в широких пределах — от тысячных до первых сотых долей процента. Уран в породах образует урановые минералы, изоморфно входит в кристаллические решетки неурановых минералов (главным образом аксессуарных), адсорбируется на поверхностях кристаллов, находится в растворенном состоянии в межзерновом пространстве. В интрузивных породах кислого состава значительная доля урана находится в аксессуарных минералах: цирконе, сфене, апатите, ортите, а в эффузивах он концентрируется в стекловатой или микрокристаллической основной массе. Самой распространенной формой нахождения урана в магматических породах является рассеянный уран в адсорбированной форме, в растворенном виде в межзерновом пространстве и в жидких включениях. На многочисленных материалах установлено последовательное обогащение ураном производных единого магматического очага. Наиболее высокими содержаниями урана характеризуются, как правило, породы наиболее поздних фаз магматизма, представленные лейкократовыми гранитами, обогащенными урансодержащим цирконом. Накопление его в поздних дериватах обусловлено тем, что уран при кристаллизации породообразующих минералов изоморфно не замещает петрогенных элементов.

Необходимо отметить, что обогащение ураном конечных продуктов магматической дифференциации наблюдается для производных как гранитного очага, так и базальтового. Для магматических пород характерно, что большая часть урана, находящегося в них, легкоизвлекаема и подвижна в верхней части литосферы. Наибольшие содержания урана характерны для пород с высоким содержанием кварца и калия.

В пегматитах накопление урана происходит, как правило, в виде урансо-держающих минералов, при этом уран обычно ассоциирует с элементами, близкими по кристаллическим свойствам, — торием, редкими землями.

Содержание урана в метаморфических породах в значительной степени связано с составом и геохимическими особенностями исходных пород. Метаморфизованные вулканогенные породы, как правило, содержат 10^{-4} % U. Метаморфизованные терригенные породы характеризуются значительными колебаниями содержания урана — $(1 \div 6) \cdot 10^{-4}$ %.

При ультраметаморфизме неоднородность распределения урана резко усиливается. Наиболее высоким содержанием характеризуются щелочные метасоматиты и реоморфические граниты (до $6,7 \cdot 10^{-4}$ %). Региональный прогрессивный метаморфизм приводит к значительной миграции урана. Вынос урана при метаморфизме от зеленосланцевой до гранулитовой фации, по расчетам Я. Н. Белевцева [1979], достигает 90 для терригенных и 60 % для хемогенных пород. Из вулканогенных пород практически весь миграционноспособный уран освобождается при переходе из зеленосланцевой в амфиболитовую фацию. Концентрация урана в породах уменьшается по мере усиления метаморфизма и связана, вероятно, с дегидратацией пород и выносом его растворами в зоны слабопроявленного метаморфизма. Породы, подвергшиеся интенсивному метаморфизму (гранулитовой фации), характеризуются наиболее низкими содержаниями урана. С мобилизацией урана и перераспределением его в структурные ловушки связывается формирование месторождений ряда урановородных формаций, локализованных в метаморфических комплексах докембрия.

1.2. Геохимия урана в гидросфере

Данные по содержанию урана в водах океанических и морских бассейнов и рек детально рассмотрены Г. Н. Батуриным [1975]. По его данным, концентрация урана в морях $(1 \div 3) \cdot 10^{-6}$, а в океанах $(0,33 \div 4,7) \cdot 10^{-6}$ г/л. Средняя концентрация урана в водах Мирового океана, по его данным, равна $3 \cdot 10^{-6}$ г/л.

В морских и океанических осадках уран, как правило, распределяется очень неравномерно. Повышенными концентрациями урана характеризуются области континентальных склонов и шельфа морей и океанов. Концентрация и распределение урана в морских осадках зависят от количества органического вещества в осадках, что связано с биологической активностью бассейнов, отсутствием активного накопления терригенных толщ и гидродинамическим режимом, который влияет на интенсивность перехода урана из вод в осадки.

В речных водах концентрации урана $(0,01 \div 30) \cdot 10^{-6}$ г/л. Решающим фактором, влияющим на концентрацию урана в водах, является климат. В водах рек гумидных зон концентрации урана, как правило, ниже 10^{-6} г/л. В реках аридных зон одновременно с повышением общей минерализации увеличивается и содержание урана, достигая в отдельных случаях $(10 \div 30) \cdot 10^{-6}$ г/л. Содержание урана в водах зависит от содержания урана в породах площади водосбора, формы его нахождения (количества легко выщелачиваемого урана). Формы нахождения урана в поверхностных водах зависят, по данным А. И. Перельмана [1968], от pH среды, содержания в ней углекислоты и органического вещества.

В верхней части земной коры — на всю глубину проникновения свободного кислорода — процессы миграции урана широко протекают преимущественно в водной среде (уран извлекается из горных пород либо из рудной минерализации). В нижней части подземной гидросферы развиты воды, характеризующиеся наличием углеводородных газов, с низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала, содержащие мало урана. Здесь, вероятно, в выщелачивании и переносе урана ведущую роль играют метаморфогенные воды, возникающие за счет потери воды гидросилсодержащими минералами. Для поступления урана в воды необходим процесс окисления урановых и урансодержащих минералов. Наиболее благоприятные условия для этого возникают в геотектонически мобильных районах, где вследствие активного водообмена древние рассольные воды с низким содержанием урана интенсивно разбавляются и вытесняются инфильтрационными водами (до глубин 8—10 км)

с резко повышенным содержанием урана. Разрушение минералов идет под действием выветривания и ряда других экзогенных и эндогенных процессов. В результате этих процессов, совершающихся в окислительных условиях, постоянно возникают воднорастворимые соединения урана шестивалентной формы. Важная роль в формировании водных ареалов рассеяния урана принадлежит гидродинамическим условиям.

На содержание урана в пластовых водах и гидрохимический фон существенно влияет климат. При этом фоновые содержания урана изменяются аналогично изменению общей минерализации воды, т. е. возрастают при переходе от районов влажного к районам с засушливым климатом. Концентрация урана в водах озер весьма непостоянная и, как в пластовых водах, во многом определяется климатической зональностью. Наиболее низкие содержания урана в озерах северных широт и в проточных высокогорных озерах.

1.3. Геохимия урана в биосфере

Содержание урана в организмах, обитающих в море и на суше, как правило, очень незначительно (10^{-5} — 10^{-9} %). В целом, по данным А. И. Перельмана [1968], уран является абиогенным элементом. Однако тесное соседство урана и органического углерода в огромных бассейнах, выполненных осадочными породами (ураноносные кварцевые сланцы Швеции, ураноносные черные сланцы провинции Чаттануга, породы формации Комбольджи в Северной Австралии), заставляет нас кратко остановиться на геохимии урана в морских и континентальных организмах. По данным Д. П. Малюги [1963] и других, концентрация урана в живом веществе, как правило, не превышает содержания его в породах (т. е. его кларковых содержаний).

Приводимые Г. Н. Батуриным [1975] данные указывают на то, что средние концентрации урана в морских организмах ниже средней концентрации урана в морских и океанических осадках и породах земной коры. Накопление урана в морских организмах обусловлено соосаждением с карбонатом кальция, анионным обменом, биометаболизмом. Повышение концентрации урана в толщах, обогащенных органическим углеродом, что мы наблюдаем в ряде регионов, связано уже с геохимией среды и поведением урана в резко восстановительной обстановке, возникающей при массовой гибели и разложении биоса.

ВЕДУЩИЕ ТИПЫ УРАНОВОРУДНЫХ И УРАНОНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ И УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Проведенный металлогенический анализ дал возможность выработать классификацию урановорудных месторождений (УРМ), которая применима как для мелкомасштабного металлогенического анализа, так и при крупномасштабных геолого-прогнозных исследованиях. В основу классификации заложен принцип, широко используемый геологами-поисковиками, о взаимосвязи урановорудных формаций с конкретными геологическими формациями и обстановками, а в тех случаях, когда это затруднительно, с типами рудосопровождающих геологических процессов.

Под урановорудной формацией (УРФ) мы понимаем естественное сообщество урановорудных месторождений, объединенных близостью тектонических (тектоно-магматических) особенностей формирования, единым набором рудных (и главных сопутствующих) элементов, сходством генетических условий формирования, единством связи с определенным структурно-формационным комплексом (СФК) или геологической формацией.

Группы месторождений со сходными минеральными ассоциациями, формирующиеся в близких геологических условиях, мы считаем целесообразным выделить как минеральные типы в пределах тех или иных формаций. Под минеральным типом мы понимаем группу месторождений с близким по составу и устойчивым парагенезисом главных минералов.

Таким образом, при классификации урановорудных месторождений мы считаем целесообразным использовать двучленное деление, когда урановорудные формации являются таксоно-типами низшего, а минеральные типы — таксонотипами более высокого порядка. Результаты проведенной классификации отражены в табл. 1.

В этой классификации при выделении урановорудных формаций кроме геолого-тектонической обстановки генеральных структур земной коры — щитов, фанерозойских подвижных поясов, чехла древних и молодых платформ — особое внимание уделено наиболее важным, для каждой из этих структур, геологическим факторам, определяющим формационную принадлежность оруденения. Наряду с геотектонической позицией прояв-

ТАБЛИЦА 1
УРАНОВОРУДНЫЕ И УРАНОНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ
И МИНЕРАЛЬНЫЕ ТИПЫ

Геолого-тектоническая обстановка	Урановорудные и ураноносные формации	Минеральные типы
Щиты, области их тектоно-магматической активизации	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="298 238 712 374">1. Урановая в пегматоидных гранитах, пегматитах и кварц-кальциевых метасоматитах областей регионального метаморфизма и интенсивной гранитизации <li data-bbox="298 409 712 526">2. Урановая в натриевых и карбонатных метасоматитах по ультраметаморфическим и железистым породам (область протоактивизации) <li data-bbox="298 560 712 632">3. Урановая в углеродсодержащих сланцах, песчаниках и доломитах протоплатформенных комплексов <li data-bbox="298 666 712 752">4. Урановая и медно-урановая в метаморфизованных песчаниках, сланцах, доломитах внутрищитовой тафросинеклизы <li data-bbox="298 787 712 904">5. Ураноносная торий-циркониевая в карбонатитах щелочно-ультраосновных интрузий центрального типа (область палеозойской активизации) <li data-bbox="298 938 712 1075">6. Урановая и золото-урановая в калиевых метасоматитах по метаморфизованным и ультраметаморфическим породам и щелочным магматическим породам (область мезозойской активизации) <li data-bbox="298 1109 712 1206">7. Урановая, золото-урановая, титан-торий-урановая в метаморфизованных конгломератах и гравелитах перикратонных прогибов <li data-bbox="298 1286 712 1377">8. Урановая в кайнозойских площадных корях выветривания на древнем фундаменте в связи с калькретами 	<p data-bbox="736 238 936 303">Уранинит-браннеритовый, уранинит-торитовый</p> <p data-bbox="736 405 936 515">Настурановый, уранинит-настурановый, настуран-браннеритовый</p> <p data-bbox="736 556 936 621">Настурановый, золото-настурановый</p> <p data-bbox="736 662 936 697">Настуран-линнеит-борнитовый</p> <p data-bbox="736 783 936 848">Пирохлоровый, пирохлор-бадделлитовый</p> <p data-bbox="736 934 936 1014">Настуран-браннеритовый, уранинитовый, коффиновый</p> <p data-bbox="736 1115 936 1241">Уранинитовый, золото-уранинитовый, уранинит-браннеритовый, торит-уранинитовый</p> <p data-bbox="736 1282 936 1301">Карнитовый</p>

Геолого-тектоническая обстановка	Урановорудные и ураноносные формации	Минеральные типы
Щиты, области их тектоно-магматической активизации	9. Урановая в линейных корях выветривания и продуктах разложения высокорadioактивных гранитов	Уранослюдковый
Фанерозойские подвижные пояса, области их позднеорогенного развития и тектоно-магматической активизации	10. Урановая в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в срединных массивах и геосинклинальных прогибах	Молибденит-настурановый, апатит-аршиновит-настурановый, апатит-коффинитовый, браннерит-настурановый
	11. Урановая в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в вулканических полях позднеорогенных областей	Молибденит-настурановый
	12. Урановая в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в связи с вулканическими полями и одиночными палеовулканами областей тектоно-магматической активизации	Флюорит-молибденит-настурановый, настурановый
	13. Урановая в связи с зонами кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в областях тектоно-магматической активизации срединных массивов	Сульфидно-настурановый, карбонат-настурановый, кварц-настурановый
	14. Урановая в углеродисто-кремнистых породах и их корях выветривания многогеосинклинальных прогибов	Настуран-ванадатовый, настуран-черниевый, черниевый
	15. Урановая в красноцветных отложениях орогенной стадии развития	Настурановый
	16. Урановая в зонах разломов в лейкократовых гранитах	Уранослюдковый (?)
Чехлы платформ, области их активизации	17. Ураноносная в кремнисто-углеродисто-глинистых битуминозных и кварцевых сланцах периферии щитов	Черниевый, черниевый-настурановый, рассеянный уран, ураноорганиаты

Геолого-тектоническая обстановка	Урановорудные и ураноносные формации	Минеральные типы
Чехлы платформ, области их активизации	18. Ураноносная в фосфоритах в терригенно-карбонатно-кремнистых породах пологих перикратонных прогибов и мульд	Карбонат-фторапатитовый (франколитовый, коллофановый)
	19. Фосфорно-редкоземельно-урановая в морских глинах с рыбным детритом в области материкового шельфа	Уран сорбирован на фосфате, а также образует уран-фосфатные соединения, содержащие редкие земли преимущественно цериевой группы
	20. Урановая, молибден-урановая, селен-урановая в молассоидных породах позднеорогенных депрессий	Настуран-черниевый, коффинитовый, молибденит-настурановый
	21. Урановая в угленосных молассоидных отложениях позднеорогенных депрессий	Черниевый, настурановый
	22. Урановая и ураноносная в аллювиальных и озерных отложениях современных и древних долин	Настурановый, селен-настурановый, черниевый, рассеянный уран
	23. Урановая в терригенно-карбонатных породах плитных комплексов и наложенных впадин, связанная с грунтовым и пластовым окислением	Настуран-черниевый, селен-черниевый, иордит-черниевый
	24. Урановая в терригенно-карбонатных отложениях плитных комплексов и наложенных впадин в связи с зонами восстановления и глубинной циркуляции подземных вод	Коффинит-настурановый, уран-ванадатный, тнокерит-настурановый
	25. Урановая в прибрежно-морских отложениях грабенообразных прогибов в связи с зонами пластового окисления и проявления наложенного гидротермального процесса (область мезозойской тектоно-магматической активизации)	Черниевый, сульфидно-коффинит-настурановый, настуран-малаконовый, настуран-гемаитовый

ление той или иной формации для УРФ в пределах чехлов дается литолого-фациальная характеристика рудовмещающих геологических формаций, для УРФ фанерозойских подвижных поясов и щитов — характеристика рудосопровождающих гидротермально-метасоматических процессов. Вместе с урановорудными в классификацию введены как руды будущего и ураноносные формации, содержащие огромные количества бедных руд.

Для УРФ щитов и областей их тектоно-магматической активизации (ТМА) характерна разнообразная группа рудоформирующих факторов.

Для УРМ Витватерсранда, Эллиота в метаморфизованных конгломератах и гравелитах перикратонных прогибов характерен сложный процесс формирования уранового оруденения. Первичное накопление обломочного уранинита вместе с золотом в существенно кварцевых конгломератах, гравелитах и песчаниках сопровождалось последующим метаморфизмом, в процессе которого происходило перераспределение урана в породах, сопровождавшееся изменением минерального состава руд.

Наиболее характерными для щитов являются: УРФ в пегматоидных гранитах, пегматитах и кварц-калишпатовых метасоматических областей регионального метаморфизма и интенсивной гранитизации. Обладая запасами преимущественно убогих по содержанию урана руд, эти месторождения с очень крупными запасами могут стать объектом эксплуатации горно-добывающей промышленности в самые ближайшие годы (УРМ Россинг уже эксплуатируется).

Урановорудная формация в натриевых и карбонатных метасоматитах по ультраметаморфическим, в том числе и железистым, породам приурочена к областям протоактивизации щитов. Формирование УРМ происходит на заключительных стадиях метасоматического преобразования пород, по сути дела уже в более низкотемпературную стадию.

Для областей распространения рассмотренных УРФ характерна геохимическая специализация на уран пород фундамента, и в частности пород гранито-гнейсовых куполов и древних осадочных комплексов. Повышенное содержание урана в породах фундамента характерно и для областей, где в ходе мезозойской ТМА образовались месторождения урановой и золото-урановой формации в калиевых метасоматитах по метаморфизованным и ультраметаморфическим породам. Завершая рассмотрение эндогенных рудных формаций щитов, отметим, что и месторождения ураноносной торий-циркониевой формации в карбонатитах щелочно-ультраосновных интрузий центрального типа развиты главным образом в их пределах.

С перераспределением урана, первоначально накопленного в ураноносных углеродисто-кремнистых и доломитовых толщах преимущественно пластовыми водами, связано формирование УРМ урановой и медно-урановой формации в докембрийских

слабометаморфизованных песчаниках, углеродисто-кремнистых сланцах и доломитах внутрищитовых тафросинеклиз Катангской урановорудной провинции (УРП), очень близких по условиям образования урановорудным месторождениям, возникшим в результате перераспределения урана и других элементов в палеозойских черных сланцах Центральной Европы.

По представлениям ряда австралийских исследователей [Додсон Р. Г. и др., 1976 г.; Auges D. E., Eadington P. J., 1975], большая часть месторождений урана в Арнемлендской УРП также являются экзогенными эпигенетическими, которые сформировались из рудных растворов, отделившихся в процессе литификации и обогащенных ураном, Co_{org} и другими рудными элементами нижнепротерозойских отложений. Т. е. в главном — первичном накоплении ураноносных осадков и последующем перераспределении урана седиментогенными водами они сходны с УРМ Катангской УРП (Шинколобве и др.). Однако Н. П. Лаверов и В. П. Барсуков [1977] отмечают: «...накопленные к настоящему времени данные по геологии урановых месторождений Австралии свидетельствуют, что они не могут быть отнесены ни к одному из известных в мире типов... В современной классификации их... следует выделить в самостоятельную группу стратиформных месторождений урана полигенного происхождения». В пределах щитов в последние годы были выявлены и крупные УРМ в кайнозойских площадных (Йилирри, в юго-западной части Австралийского щита) и линейных корях выветривания.

Выделяя УРФ фанерозойских подвижных поясов, мы сочли необходимым разделить, несмотря на ряд сближающих черт, рудные формации, возникающие в поздние этапы развития геосинклинально-складчатых систем и возникающие в процессе ТМА. Так как для УРМ часто трудно обосновать связь уранового оруденения с конкретной геологической формацией, для определения УРФ кроме геологической ситуации используется характер гидротермально-метасоматических изменений.

В связи с поздними этапами развития геосинклинально-складчатых областей возникли две УРФ. УРМ одной из них в пространстве и во времени тесно связаны с формированием вулканических полей, представленных сложной гаммой эксплозивных, эффузивных, субвулканических и гипабиссальных пород кислого и среднего состава, являющихся результатом деятельности вулканов преимущественно центрального типа. Возникновение вулканических пород следует непосредственно вслед за инверсией поздних геосинклинальных прогибов.

УРМ второй формации в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза, тесно связанной с поздними этапами развития, локализуются в разнообразных геологических обстановках вне видимой связи с той или иной геологической формацией. Разнообразие минеральных типов оруденения в этой фор-

мации обусловлено большим разнообразием геологических обстановок локализации оруденения.

Месторождения УРФ в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в связи с вулканическими полями и одиночными палеовулканами областей ТМА локализуются, как правило, в пределах вулканических структур и подстилающих их породах гранитного основания. По вещественно-минералогическому составу руды месторождений этой формации очень сходны с рудами двух рассмотренных ранее УРФ.

Несколько подробнее остановимся на характеристике УРФ в углеродисто-кремнистых породах и их корках выветривания в миогеосинклинальных прогибах. Широкое развитие ураноносных углеродисто-кремнистых отложений создает благоприятные предпосылки для формирования в процессе их эпигенетического преобразования рудных концентраций с более высоким содержанием урана. На первых этапах изучения УРМ этого типа исследователи (Р. В. Гецева и другие) решающее значение в формировании руд усматривали в перераспределении урана из обогащенных им пород грунтовыми и пластовыми водами. Однако в последние годы выявляются факты, указывающие на участие в формировании руд термальных вод глубокой циркуляции. Не исключено, что области развития углеродисто-кремнистых пород на платформах, в тех частях, где они охвачены последующей ТМА либо выведены на поверхность и подверглись длительному воздействию гипергенных факторов, также благоприятны для формирования УРМ этой УРФ.

В чехле платформ и областей их активизации кроме двух ураноносных выделяется семь урановорудных формаций. Лишь одна из них, фосфорно-редкоземельно-урановая в морских глинах с рыбным детритом в отложениях области материкового шельфа, характеризуется сингенетичным с осадками накоплением урана. Для остальных характерны эпигенетические процессы формирования урановых руд. Наиболее широко представлены месторождения урановой формации в проницаемых терригенно-карбонатных толщах орогенных и периорогенных зон с двумя субформациями. Месторождения первой из них связаны с зонами пластового окисления, а второй — с зонами восстановления и глубинной циркуляции вод.

В связи с зонами грунтового окисления сформировались, преимущественно в гумидных условиях, УРМ урановой формации в песчано-глинистых и торфяных отложениях современных речных долин.

Сложнее вопросы характера рудоформирующих растворов решаются для УРФ, локализующихся в молассоидных отложениях. Урановое, молибден-урановое и селен-урановое оруденение в молассоидных отложениях позднеорогенных депрессий характеризует наиболее древнее промышленное урановое оруденение этого типа. Для формирования этого типа оруденения, рассматриваемого В. Е. Кудрявцевым как осадочно-диагенетическое,

ведущую роль играют седиментогенные воды. Для урановой формации в угленосных молассоидных отложениях характерно участие в формировании руд наряду с пластовыми и грунтовыми вод. Пластовые воды имеют ведущее значение и для формирования руд урановой формации в аллювиальных и озерных отложениях палеодолин.

В последние годы все больше становится сторонников у концепции значительного участия в формировании УРМ в чехле платформ ювенильных вод и вод глубокой циркуляции. В отдельных районах установлено, что на урановое оруденение в прибрежно-морских отложениях грабенообразных прогибов, связанное с зонами пластового окисления, накладываются гидротермальные изменения.

В последние годы все больше становится сторонников у концепции значительного участия в формировании УРМ в чехле платформ ювенильных вод и вод глубокой циркуляции. В отдельных районах установлено, что на урановое оруденение в прибрежно-морских отложениях грабенообразных прогибов, связанное с зонами пластового окисления, накладываются гидротермальные изменения.

ГЛАВНЕЙШИЕ СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ (урановорудные эпохи и провинции)

В пределах материков, имеющих преимущественно кору континентального типа, выделяются древние и молодые платформы и подвижные пояса. С развитием подвижных поясов связано формирование геосинклинально-складчатых областей и ряда негеосинклинальных структур.

В пределах древних платформ выделяются щиты, основания платформ и плиты. Щиты и основания платформ характеризуются одноярусным строением и сложены преимущественно метаморфическими и метаморфизованными породами докембрия. Наряду с метаморфическими и интенсивно метаморфизованными комплексами на щитах развиты слабометаморфизованные проторогенные и протоплатформенные существенно осадочные комплексы пород протерозоя. Плиты сложены, как правило, пологозалегающими слабометаморфизованными преимущественно осадочными и реже магматическими породами.

Подвижные пояса (Центральноазиатский, Средиземноморский, внутриконтинентальные и Тихоокеанский окраинно-континентальный), начав свое развитие с неогена, в настоящее время превратились в совокупность полихронных геосинклинально-складчатых областей, частично перекрытых платформенными отложениями (чехлы молодых платформ, краевые прогибы, наложенные депрессии). Подвижные пояса рассматриваются нами как сложные гетерогенные сооружения, включающие наряду со структурами геосинклинального ряда и негеосинклинальные, такие как краевые рифты, сводово-глыбовые поднятия, вулканические пояса. Особое место среди структур подвижных поясов негеосинклинального ряда занимают выступы древнего основания, обычно рассматриваемые как срединные массивы, и геантиклинальные поднятия.

Существенное значение для металлогении урана имеют структуры постинверсионных стадий развития геосинклинально-складчатых областей и областей ТМА. Проведенный формационный анализ показывает, что по вещественному составу образования поздних этапов развития подвижных поясов (по Ю. А. Билибину [1955]) и периода ТМА очень близки. В том и другом случае возникают впадины, выполненные молассовыми и молассоидными отложениями, вулканогенные пояса, сложенные наземными

вулканогенными породами и вулкано-интрузивными комплексами, а также многочисленные локальные проявления гипабиссальных и субвулканических интрузий щелочного и ультракислого состава. Главным, что позволяет в ряде случаев отличать образования поздних этапов от образований периода ТМА, является отрыв последних во времени от проявления заключительных стадий геосинклиналильного процесса.

Рассматривая плитные комплексы древних и молодых платформ, мы стремились показать черты, объединяющие их, что особенно отчетливо проявляется в позднем мезозое и кайнозое — ведущих эпохах уранового рудообразования в пределах плитных комплексов. Однотипность мезозойских и кайнозойских отложений в пределах чехлов древних и молодых платформ, достаточно убедительно показанная рядом исследователей, имеет важное металлогеническое значение.

Рассматривая закономерности формирования УРМ во времени, можно заметить, что урановые месторождения формируются в течение закономерно проявляющихся урановородных эпох. Такие эпохи сопряжены во времени со вспышками тектонической или магматической активности, отвечающими началу или завершению крупных этапов развития континентов или крупных геологических структур в их пределах. Каждой из намеченных урановородных эпох свойственны специфические особенности процессов уранового рудогенеза.

4677
В раннепротерозойскую эпоху (2800—2200 млн. лет) на ряде континентов накапливаются ураноносные и золото-ураноносные конгломераты — продукты глубокой механической дифференциации в условиях низкого содержания свободного кислорода в атмосфере. В ранне-среднепротерозойскую (2000—1700 млн. лет) и позднепротерозойскую эпохи (1050—950 млн. лет), проявившиеся на большинстве древних платформ, возникают ураноносные пегматиты и щелочные метасоматиты, представляющие собою результат сложного взаимодействия явлений гранитизации и регионального метаморфизма различных ступеней.

Позднепротерозойско-раннепалеозойская урановородная эпоха (700—550 млн. лет) характеризуется развитием гипергенных процессов (выветривание, трещинная и пластовая инфильтрация), приводящих к появлению урановых и медно-урановых месторождений сложного генезиса. В течение среднепалеозойской (380—330 млн. лет), позднепалеозойской (280—260 млн. лет) и позднемезозойской (130—90 млн. лет) эпох в связи с процессами позднеорогенного магматизма и ТМА структур Средиземноморского и Тихоокеанского подвижных поясов Евразии образуются многочисленные гидротермальные урановые месторождения в зонах щелочного метасоматоза и кислотного выщелачивания.

Позднемезозойская (130—90 млн. лет) и кайнозойская, или неоген-четвертичная (20—0 млн. лет), эпохи характеризуются повсеместным широким развитием экзогенного эпигенетического

уранового рудообразования, обусловленного интенсификацией гидродинамического режима и новейшими горообразовательными процессами на всех континентах. Отчетливо выраженная тенденция к нарастанию интенсивности экзогенных рудоформирующих процессов при затухании роли эндогенного рудообразования в ходе геологической истории Земли является отражением общей эволюции структур земной коры.

Прежде чем приступить к рассмотрению закономерностей пространственного и временного размещения урановых месторождений в пределах главных структурных элементов земной коры (щитах и основаниях древних платформ, подвижных поясов, чехле древних и молодых платформ), кратко сформулируем ряд общих положений и особенностей, свойственных процессам уранового рудообразования в масштабе Земли.

Для металлогении урана важное значение имеет геохимическая неоднородность земной коры, возникшая еще на первых стадиях ее развития и выразившаяся в появлении областей с повышенным содержанием урана в породах. Это связано с эндогенными и экзогенными сингенетическими процессами. Сингенетически обогащенные породы рассматриваются в качестве одного из реальных источников металла, вовлекаемого в рудообразующие процессы. Это гранито-гнейсовые комплексы докембрия, углеродисто-кремнистые сланцы докембрия и палеозоя, лейкогранитовые формации фанерозоя. Механизм извлечения, транспортировки и отложения урана рудоносными растворами обуславливается геотектоническими и геохимическими обстановками, свойственными конкретному типу УРФ каждой урановорудной эпохи.

Возникновение и формирование эпигенетических урановых месторождений в пределах различных структурных элементов земной коры связаны главным образом с проявлением процессов тектоно-магматической и тектонической активизации либо с орогенными движениями поздних этапов развития подвижных поясов. Проявление активизации (тектонической перестройки, магматизма, осадконакопления, метаморфизма, гидродинамики и т. д.) чрезвычайно разнообразно. Для древнейшей активизации (протоактивизации), с которой связано формирование ряда урановорудных районов, характерно широкое развитие процессов гранитообразования, ультраметаморфизма и диафтореза, приуроченных к глубинным длительно живущим разломам. Для области мезозойской активизации древнего щита характерно, что глубинные разломы сопровождаются комплексом щелочных интрузий и, наряду с урановым, золотым оруденением. По периферии молодых орогенов активизация выражается в формировании систем впадин и поднятий, артезианских бассейнов, в резком возрастании динамики вод. Перечисленными примерами отнюдь не ограничивается проявление ТМА. Важно подчеркнуть, что перестройка структуры земной коры, возникновение систем горстов и грабенов, вулканогенов способствуют при ряде других

ТАБЛИЦА 2

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЗЕМНОЙ КОРЫ И УРП

Главнейшие континентальные структуры	Тектонические структуры		УРП	
	II порядка	III порядка	Типы	Примеры
Чехлы древних и молодых платформ и области их мезозойской активизации	Синеклизы, антеклизы, передовые прогибы	Внутриплатформенные прогибы и поднятия, в том числе системы наложенных депрессий, возникающие в процессе тектонической активизации (Колорадско-Вайомингская система наложенных депрессий) *	Гидрогенные УРМ в СФК активизированных чехлов древних и молодых платформ и наложенных депрессий	Колорадско-Вайомингская
Фанерозойские подвижные пояса и области фанерозойской активизации	Геосинклинально-складчатые области	Срединные массивы, геосинклинальные поднятия — основания геосинклинально-складчатых областей (Центрально-французский и др.). Геосинклинально-складчатые системы, в том числе мио- и эвгеосинклинальные прогибы *	Гидротермальные и гидрогенные УРМ в СФК срединных массивов и обрамляющих их миогеосинклинальных прогибов	Центральнофранцузская, Испанская Месета
	Про- и протогео-синклинально-складчатые области	Внутренние массивы — нуклеары *	Гидротермальные УРМ в СФК внутренних массивов древних платформ, активизированных в мезозое	
		Зеленокаменные пояса (Киватинский и др.)		

Главнейшие континентальные структуры	Тектонические структуры		УРП	
	II порядка	III порядка	Типы	Примеры
Древние платфор- мы (основания и проточехлы) и области их до- кембрийской ак- тивизации	Неогеосинклинал- ные структуры, в том числе воз- никающие в про- цессе протоакти- визации	Тафросинеклизы (Катангская, Лиммен и др.)	Гидрогенные урановых и мед- но-урановых месторождений в СФК тафросинеклиз и мио- геосинклинальных прогибов древних платформ	Катанга, Арнем- ленд
		Перикратонные прогибы (Вит- ватерсранд, Эллиот и др.)	Осадочно-метаморфогенные ме- сторождения ураноносных и золото-ураноносных конгло- мератов в протоорогенных СФК перикратонных проги- бов древних платформ	Блайнд-Ривер, Витватерсранд
		Зоны метаморфического преоб- разования, протоактивизации	Гидротермальные УРМ в СФК зонах протоактивизации фун- дамента древних платформ и щитов	Черчилл

* Переработаны процессами ТМА и(или) позднеорогенного магматизма.

благоприятных факторов оживлению уранового рудогенеза.

Рассматривая взаимосвязь уранового и рядового оруденения, необходимо отметить, что при сонахождении в пределах металлогенических провинций с золотом, свинцом, оловом, медью, молибденом урановое оруденение, как правило, является существенно более молодым и наиболее близко по времени к эпитеpmальной минерализации — флюориту, сурьме, ртуту и др.

Для формирования гидрогенных УРМ в плитных комплексах чехла древних и молодых платформ важное значение имеет климатический фактор: сочетание аридного климата в области разгрузки пластовых вод с семиаридными условиями в областях питания. В последние годы рядом советских и зарубежных исследователей обращается внимание на коры выветривания как источник металла для образования инфильтрационных месторождений.

Изучение региональной металлогении урана континентальных блоков земной коры показало, что щиты и основания древних платформ, фанерозойские подвижные пояса, плиты древних и молодых платформ и области их активизации характеризуются определенными типами урановорудных провинций с характерными группами урановорудных и ураноносных формаций. Положение УРП в главнейших континентальных структурах и соотношения металлогенических и тектонических таксонов иллюстрируется табл. 2.

По приуроченности УРП к основным геотектоническим структурам и по другим факторам нами выделяются шесть типов УРП. Провинции каждой из групп возникли в результате всей совокупности необратимых преобразований, имевших место в литосфере, гидросфере и биосфере в процессе направленного развития земной коры, и характеризуются особенностями геотектонического положения, глубинного строения, геохимическими признаками, типами рудогенерирующих процессов и рудных формаций.

Наряду с главнейшими УРП имеется ряд более мелких металлогенических подразделений — урановорудных областей, районов с УРМ тех же либо иных формационных типов, которые необходимо учитывать при проведении локальных прогнозно-геологических работ, направленных на выявление отдельных месторождений либо рудных полей.

3.1. Древние платформы (основания и проточехлы) и области их докембрийской активизации

Среди УРП щитов и оснований древних платформ выделяются три типа.

УРП осадочно-метаморфогенных месторождений ураноносных и золото-ураноносных конгломератов в протоорогенных

отложениях перикратонных прогибов древних платформ. Первичное накопление урана здесь связано с формированием нуклеарных куполов и обусловлено, вероятно, с одной стороны, процессами зонной плавки, а с другой — дифференциацией вещества земной коры в результате выветривания и осадкообразования.

Процессы механической и в меньшей мере химической дифференциации при разрушении нуклеарных куполов, сложенных образованиями раннего протогея, обусловили формирование древнейших УРМ. Месторождения УРП Витватерсранд, Блайнд-Ривер, Сьерра-де-Жакобина располагаются на склонах древних относительно подвижных кратонов. Накопление рудовмещающих песчано-конгломератовых толщ раннепротерозойского возраста происходило в крупных перикратонных прогибах. Отложения, выполняющие эти прогибы, представлены преимущественно дельтовыми и русловыми фациями с признаками многократных переывов в осадконакоплении и перемыва нижележащих горизонтов.

Положение урановорудных районов и отдельных рудных полей в пределах УРП определяется палеогеоморфологическими (наличие эрозионных депрессий, куполов, грабен), литолого-геохимическими (широкое развитие зрелых кварцевых и олигомиктовых конгломератов, высокое содержание пирита и других тяжелых минералов, а также углеродистого вещества) и рядом других особенностей.

Региональные геологические предпосылки ураноносных конгломератов следующие.

1. Тектоническая позиция урановорудных провинций определяется их приуроченностью к эндопротоплатформенным перикратонным прогибам, выполненным относительно слабометаморфизованными континентальными протоорогенными отложениями. Такие прогибы развиваются на склонах кратонов, сложенных архейскими метаморфическими и ультраметаморфическими породами.

2. Отложения, вмещающие золото-ураноносные конгломераты, сформировались в отрезок времени 2200—2800 млн. лет, для которого ведущим геологическим процессом была осадочная — механическая и химическая — дифференциация.

3. Протоорогенные отложения с золото-ураноносными конгломератами в различных УРП этого типа имеют сходный литолого-петрографический состав и характеризуются сходной последовательностью осадконакопления.

4. Литолого-фациальные особенности мелкообломочных отложений указывают на накопление их в мелководных бассейнах в прибрежно-морских и лагунных условиях. Грубообломочные толщи принадлежат к дельтово-русловым фациям.

5. Широкое развитие зрелых кварцевых или олигомиктовых конгломератов, содержащих в цементе обломочные окатанные зерна пирита, золота и других тяжелых минералов, дополни-

тельно свидетельствует о длительности процессов механической и химической дифференциации.

6. Толщи несут признаки формирования в условиях недостатка свободного кислорода в атмосфере.

УРП урановых месторождений в зонах протоактивизации фундамента древних платформ и щитов. Формирование месторождений этого типа связано с зарождением крупных разрывных нарушений, контролирующих осадконакопление, магматизм, метаморфизм, рудогенез и в том числе формирование и размещение урановых месторождений, которые приурочены в провинциях этого типа к структурам основания древних платформ, обладающих максимальными мощностями земной коры в целом и гранитно-метаморфического слоя в частности. Отчетливо просматривается взаимосвязь процессов метаморфизма, гранитизации, уранового рудообразования с разломами глубокого заложения. Ведущие процессы формирования УРМ — ультраметаморфизм, гранитизация и последующий гидротермальный метасоматоз.

Ультраметаморфизм и гранитообразование завершаются формированием крупных УРМ в пегматитах и кварц-полевошпатовых метасоматитах, за которыми во времени следуют УРМ в карбонатно-натриевых метасоматитах и альбититах, ведущую роль в рудообразовании которых, очевидно, играют воды, высвобождающиеся в процессе метаморфизма осадочных пород, что доказывается работами Я. Н. Белевцева, А. В. Тарханова и других по изотопному составу сульфидной серы в урановых месторождениях.

Основными региональными геологическими предпосылками уранового оруденения этого типа являются следующие.

1. Тектоническая позиция, которая определяется приуроченностью УРМ к массивам дофанерозойских складчатых поясов (выступам фундамента древних платформ), претерпевшим интенсивную гранитизацию и последующий многократный метаморфизм.

2. Повышенная мощность земной коры в целом и ее гранитного слоя в частности в пределах этих массивов.

3. Наличие обогащенных ураном пород, возникновение которых обусловлено процессами ультраметаморфического гранитообразования и последующей механической дифференциацией.

4. Наличие зон с нарушением первично-конституционального распределения урана, которые, как и урановые месторождения, контролируются зонами глубинных разломов, преимущественно ограничивающих блоки с максимальной мощностью земной коры.

УРП урановых и медно-урановых месторождений в структурах тафросинеклиз и миогеосинклинальных прогибов древних платформ. В теснейшей связи с дофанерозойским периодом развития земной коры находится и формирование УРП урановых и медно-урановых месторождений сложного генезиса в структу-

рах тафросинеклиз и миогеосинклинальных прогибов (Катангской в Южной Африке и Арнемлендской в Австралии). Появлению месторождений УРП этого типа предшествовала первая мощная эпоха формирования биогеохимических ураноносных провинций. Содержание $C_{орг}$ в доломитах, вмещающих урановое оруденение, в бассейне р. Аллигайтор (УРП Арнемленд) достигает 15%. Эти отложения, образовавшиеся в сравнительно спокойных геотектонических условиях и слабометаморфизованные, по представлению ряда австралийских геологов, являются источником урана для формирования УРМ.

Ведущим типом УРМ здесь являются эпигенетические гидrogenные месторождения, тесно связанные с обогащенными ураном (до 100 г/т) углеродистыми толщами. Ведущий процесс формирования УРМ этой группы — мобилизация и перераспределение рассеянного в породах урана поверхностными водами, а также слабонагретыми растворами, высвобождавшимися в ходе метаморфизма низких ступеней.

Образование урановых руд происходило в благоприятных структурных обстановках вблизи поверхности несогласия. Часть урана поступила в поверхностные воды в процессе длительного выветривания, в результате которого, по данным австралийских геологов, породы потеряли до 60% содержащегося в них урана.

Подобный механизм рудообразования объясняет ряд эмпирических закономерностей, наблюдаемых при изучении УРМ, и в том числе:

- а) локализацию урановых руд в кремнисто-углеродистых сланцах;
- б) тесный парагенезис урана с ванадием, селеном, органическим углеродом, арсенидами никеля, кобальта, медью, свинцом;
- в) выклинивание рудных тел и уменьшение содержания урана и сопутствующих элементов на незначительной глубине от плоскостей несогласий, наиболее благоприятных для движения поверхностных вод;
- г) расположение рудных тел вблизи несогласий и очень ограниченное распространение оруденения ниже плоскости несогласий. Эти факты установлены для месторождений Арнемлендской УРП. Сходные взгляды развиваются рядом ученых и на генезис урановых месторождений Катангской УРП и месторождений бассейна оз. Атабаска в Канаде.

Основные региональные геологические предпосылки уранового оруденения этого типа УРМ следующие.

1. Приуроченность к тафrogenным структурам и миогеосинклинальным прогибам, располагающимся на структурах древнейшей консолидации щитов.

2. УРМ располагаются в пределах обогащенных ураном формаций, в возникновении которых важнейшую роль играли резкие изменения химизма морских бассейнов, приведшие к формированию обогащенных ураном и углеродистым веществом терригенных отложений типа формации Кулпин.

В локализации рудных тел УРМ рассмотренных УРП ведущую роль играет стратиграфический, литологический и структурный факторы.

3.2. Фанерозойские подвижные пояса и области фанерозойской активизации

Урановорудные провинции фанерозойских подвижных поясов в сравнении с докембрийскими характеризуются резким возрастанием тектонической активности, усилением дифференциации земной коры, стабилизацией древних платформ и формированием подвижных поясов. В ряде случаев вследствие неоднородности тектонического строения континентов отчетливо наблюдается своеобразие развития отдельных блоков. Появляются региональные урановорудные эпохи: позднепалеозойская для внеальпийской Европы и ряд других.

Для фанерозойского этапа развития (главным образом среднего и позднего палеозоя и мезозоя) Земли характерно возрастание масштаба эндогенных рудообразующих процессов, кульминация которых в одном случае падает на средний палеозой, в другом — на поздний палеозой; в регионах, сопряженных с Тихоокеанским подвижным поясом, — на поздний мезозой. Ведущее металлогеническое значение приобретают структуры типа срединных массивов. Роль глубинных разломов в размещении УРМ в таких массивах становится ведущей для обширной группы гидротермальных месторождений. Процессы ТМА, охватывающие огромные пространства по периферии мезозойско-кайнозойских подвижных поясов (Тихоокеанского и Средиземноморского), в сочетании с другими факторами привели к возникновению УРП с гидротермальными месторождениями в пределах активизированной части щитов и переотложению урана на ряде месторождений.

УРП гидротермальных урановых месторождений в активизированных срединных массивах и обрамляющих их миогеосинклинальных прогибах. Анализ геотектонической позиции УРП, размещающихся в пределах срединных массивов Средиземноморского и Тихоокеанского подвижных поясов, показывает, что наиболее представительные из них расположены в выступах докембрия в краевых частях подвижных поясов вблизи их границ с древними платформами. Конфигурация подобных срединных массивов определяется разноориентированными глубинными разломами, развивающимися, как правило, в течение нескольких геологических эпох.

Главнейшие геологические предпосылки образования урановорудных провинций в пределах срединных массивов (и их геосинклинально-складчатого обрамления) могут быть сформулированы следующим образом.

1. Наличие в срединных массивах купольных структур гранито-гнейсового состава с относительно высоким содержанием урана в породах.

2. Присутствие в обрамляющих срединные массивы многоэпиклинориях пород, обогащенных ураном, и в первую очередь углеродисто-кремнистых сланцев.

3. Мощное проявление ТМА, которая на ранних стадиях благоприятствовала возникновению процессов рудообразования, а на более поздних стадиях создает условия для переотложения урана и формирования богатых руд.

4. Наличие крупных разломов глубинного заложения — линейментов, ограничивающих и разделяющих на блоки срединные массивы. Как правило, эти же разломы контролируют и размещение урановорудных месторождений.

Формирование УРП происходит в пределах блоков с сиалической корой при наличии глубинных разломов, вовлекающих в процесс преобразования верхнюю часть сиалического слоя и граничные слои гранитного и базальтового слоев. Это важно подчеркнуть, учитывая тесную пространственную близость месторождений урана и золота в ряде УРП.

УРМ, формирующиеся во времени вслед за гранитоидами, телекопируются на более ранние редкометалльно-полиметаллические или медные месторождения, ассоциирующие с интрузиями гранитов. Подобные явления отмечены для Центральнофранцузского и других срединных массивов.

Ведущим типом в УРП срединных массивов являются урановые месторождения в зонах щелочного метасоматоза и кислотного выщелачивания. В пределах рудоносных структур широко проявлены интенсивные предрудные гидротермально-метасоматические изменения — березитизация, аргиллизация.

УРП гидротермальных урановых месторождений в массивах ранней стабилизации древних платформ, активизированных в мезозое. Наиболее общей особенностью геотектонической позиции их является расположение в структурах восточной окраины Азиатского материка, неоднократно активизированных в фанерозое. Геотектонические особенности и металлогения таких провинций и районов позволяют рассматривать их возникновение как закономерный этап геологического развития конкретных блоков земной коры в докембрии и мезозое. Позднеархейский — раннепротерозойский этап обусловил формирование специализированных на уран метаморфических и ультраметаморфических комплексов. Этап мезозойской ТМА создал условия для перераспределения урана и концентрации его в благоприятных геолого-структурных обстановках.

Региональные глубинные разломы длительного развития во многом определяют возникновение УРП рассматриваемого типа. Они создают блоковое строение докембрийского основания, контролируют поля обогащенных ураном магматических образований щелочного или кислого состава: к ним приурочены

мощные и протяженные зоны гидротермально-метасоматических изменений. Ведущими факторами, определяющими пространственное размещение подобных УРП и УРР, в порядке их значимости, являются геотектонический, структурный, магматический.

Особую группу в пределах геосинклиналино-складчатых областей образуют УРР с месторождениями сложного генезиса в ураноносных углеродсодержащих черных сланцах. Образование черных сланцев связано с определенными эпохами геологического развития земной коры и обусловлено эволюцией органической жизни, развитие которой связано с изменением геохимических ландшафтов Земли [Альтгаузен М. Н., 1956; Перельман А. И., 1968]. Черные сланцы в ряде регионов первично обогащены ураном, ванадием, золотом, молибденом, редкоземельными, барием, стронцием, углеродом, фосфором, серой, никелем, медью, цинком, селеном и другими элементами. Главной особенностью черных сланцев является присутствие в них преобразованного углеродистого вещества и нередко фосфатов. Между концентрацией урана и $C_{орг}$ в ряде районов существует прямая количественная зависимость. Повышенное содержание подвижного урана в черных сланцах создавало предпосылки для формирования эпигенетических его концентраций в связи с эндогенными и экзогенными рудообразующими процессами. Эндогенное перераспределение связано с воздействием гидротермальных растворов на ураноносные черные сланцы, а экзогенное — с формированием древних кор выветривания и деятельностью седиментогенных и инфильтрагенных вод [Гецева Р. В., 1963; Рыбалов Б. Л., 1965]. Формирование оруденения обусловлено в основном тремя факторами.

Геотектонический фактор определяет приуроченность УРР преимущественно к структурам типа миогеосинклиналиных прогибов, где наряду с ураноносными черными сланцами в разрезе присутствуют глинистые и хлорит-серицитовые сланцы, доломиты, известняки, прослои фосфоритов и реже вулканиты основного состава.

Стратиграфический фактор оруденения хотя и существует, но, как правило, оруденение локализуется в отложениях, охватывающих даже в пределах одного УРР широкий стратиграфический интервал. В одном из рудных районов, например, оруденение встречено в ордовикских, силурийских и девонских отложениях. Роль литолого-фациального фактора определяется приуроченностью большей части оруденения к углеродисто-кремнистым сланцам.

Ведущее значение структурного фактора (разломов) для локализации УРМ отмечается лишь для части рудных тел и месторождений. По мнению исследователей, большее значение имеют плоскости несогласий, фиксируемые древними корами выветривания.

3.3. Чехлы древних и молодых платформ и области их мезозойской активизации

Тектоническая активизация древних и молодых платформ в мезозойско-кайнозойское время обусловила интенсивное развитие эпигенетических рудообразующих процессов и привела к появлению УРП с водородными УРМ, которые формировались за счет пластовых окислительно-восстановительных процессов в активизированных частях чехлов древних и молодых платформ и наложенных депрессий (Колорадско-Вайомингская УРП и др.). Геотектоническое положение рассматриваемой группы УРП определяется их приуроченностью к активизированным в позднем мезозое и кайнозое чехлам древних и молодых платформ и системам наложенных депрессий. Эти провинции, как правило, располагаются на границе неоген-четвертичных орогенов с сопредельными древними и молодыми платформами. УРП по простиранию суборогена обычно ограничиваются трансрегиональными разломами, поперечными по отношению к простиранию орогенных поясов. УРП характеризуются двух- и трехъярусным строением. Нижние структурные ярусы представлены СФК фундамента древних платформ и СФК геосинклинальных отложений. Верхний ярус сложен СФК чехла древних и молодых платформ и СФК наложенных депрессий. УРМ приурочены к слабодислоцированным отложениям осадочного чехла.

Изучение глубинного строения показывает, что УРП рассмотренной группы характеризуются неоднородным блоковым строением фундамента. Выделяются два типа УРП: в проницаемых терригенных и карбонатных породах СФК чехла платформ и в терригенных породах орогенных комплексов.

Отчетливо намечаются две главные глобальные урановородные эпохи формирования УРП рассматриваемого типа, каждая из которых характеризуется своим типом уранового оруденения. В позднемезозойскую эпоху (130—90 млн. лет) возникают главным образом УРМ урановой формации в проницаемых терригенных и карбонатных породах чехла платформ и наложенных депрессий, контролируемые зональностью восстановления; в плиоцен-миоценовую эпоху (30—0 млн. лет) формируются месторождения, контролируемые зональностью окисления. В том и другом случае УРМ образуются после длительного периода покоя и корообразования в условиях слаборасчлененного рельефа. Кроме того, намечается позднепалеозойская урановородная эпоха, с которой связано формирование ряда водородных УРМ в Центральной Европе и Центральной Азии.

Практически во всех УРП среди подстилающих рудомещающих толщ структурно-формационных комплексов геосинклинально-складчатого основания выявлены ураноносные формации, представленные углеродсодержащими кремнисто-черносланцевыми

отложениями. Эти ураноносные формации, а также граниты и гнейсы СФК фундамента, участвующие в строении областей питания артезианских бассейнов, рассматриваются как потенциальные источники урана для процессов экзогенного рудообразования.

Ведущим процессом, формирующим урановорудные месторождения в проницаемых толщах платформенного чехла и наложенных впадин, является пластовая инфильтрация кислородных вод. Месторождения урана располагаются в краевых приорогенных частях артезианских бассейнов и занимают определенное положение в гидродинамической и гидрохимической зональности. Основные гидрогеологические факторы локализации инфильтрационного уранового оруденения могут быть сформулированы так:

1) урановорудные месторождения формируются в артезианских бассейнах, образующих внешний артезианский пояс орогенов; как правило, они приурочены к аридным или субаридным областям, характеризующимся высокой степенью минерализации вод;

2) УРМ располагаются на крыльях артезианских бассейнов, на границе с наиболее обводненными частями орогенов;

3) водоносные горизонты, формирующие УРМ, характеризуются наличием каналов гидравлической связи между собой и с грунтовыми водами верхних частей разреза;

4) наиболее продуктивные рудовмещающие горизонты УРМ имеют, как правило, дополнительные источники питания пластовых вод; к таковым относятся перелив вод и разгрузка вод фундамента бассейна;

5) гидрохимическая зональность УРР характеризуется сменой окислительных сред, обуславливающих активную миграцию урана, восстановительными средами, запрещающими миграцию.

В размещении УРМ важное значение имеет структурный фактор, выражающийся в приуроченности их к депрессионным структурам в пределах чехла. Позиция рудовмещающих депрессий определяется слабовыраженными на поверхности ортогональными и диагональными системами разломов, обычно наследующими древний структурный план.

Стратиграфический контроль оруденения, неотчетливо проявленный на конкретных месторождениях, более явно выражается в пределах УРП в предпочтительной локализации оруденения в определенных частях разреза СФК платформенного чехла и наложенных депрессий.

Литологический контроль оруденения выражается в локализации УРМ в проницаемых слаболитифицированных разновидностях пород, насыщенных природными восстановителями: органическими остатками растительного и животного происхождения, сульфидами. Большинство урановорудных провинций размещается в аридных зонах. Важно отметить, что к аридным зонам примыкают горные районы со значительным количеством годовых осад-

ков, которые обеспечивают извлечение легкорастворимого урана и транспортировку его кислородными водами к областям формирования УРМ. Однако климат ряда УРР свидетельствует о возможности развития процессов экзогенного уранового рудообразования и в гумидных зонах. Это необходимо иметь в виду при оценке перспектив ураноносности обширных регионов в умеренных широтах.

Наряду с УРП с гидрогенными УРМ, обязанными формированием пластово-окислительным процессам, выявлены УРР, в которых УРМ возникают в процессе грунтовых окислительно-восстановительных процессов.

ГЛАВНЕЙШИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЩИТАХ,
ОСНОВАНИЯХ ПЛАТФОРМ
И ОБЛАСТЯХ ИХ АКТИВИЗАЦИИ4.1. Урановые и золото-урановые
месторождения в метаморфизованных
конгломератах, гравелитах и песчаниках

Одним из основных районов развития ураноносных конгломератов докембрия является провинция Витватерсранд, расположенная в южной краевой части Южно-Африканского щита. В раннепротерозойское время, когда формировались рудомещающие толщи, район в геотектоническом отношении представлял собой протоорогенную впадину краевой части Африканского кратона [Металлогения урана..., 1980]. Здесь на древнем архейском основании существовал развивавшийся вдоль обрамления всего кратона устойчивый прогиб.

Одним из типичных для провинции является месторождение Вирджиния, располагающееся в юго-восточной части территории Оранжевой провинции (ЮАР). Район сравнительно хорошо разбурен с густотой 1—2 скважины на 10—15 км². В районе месторождения породы кристаллического архейского (радиологический возраст более 3500 млн. лет) фундамента представлены гнейсами, мигматитами и гранитами [Coetzee C. B., 1960; Pretorius D. A., 1974 и др.]. Рудоносные нижнепротерозойские отложения образуют самостоятельный геотектонический ярус мощностью более 10 км, представленный метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами, разделяющимися на три серии (снизу вверх): нижний и верхний Витватерсранд и Вентерсдорп. Они перекрываются существенно терригенными палеозойско-мезозойскими отложениями системы Карру и толщей кайнозойских слаболитифицированных пород.

Непосредственно в районе Вирджиния на современной поверхности фиксируются кроме кайнозойских отложения Карру и прерывающие их тела долеритов. На геологической специализированной карте поверхности до Карру (рис. 1) картируются все основные подразделения систем Витватерсранд и Вентерсдорп, включая горизонты уран- и золотосодержащих «рифов». Под последними понимаются пачки сближенных в разрезе горизонтов рудоносных конгломератов, обычно мощностью от первых метров до первых десятков метров, переслаивающихся с метагравели-

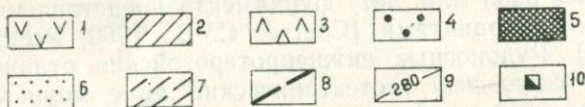
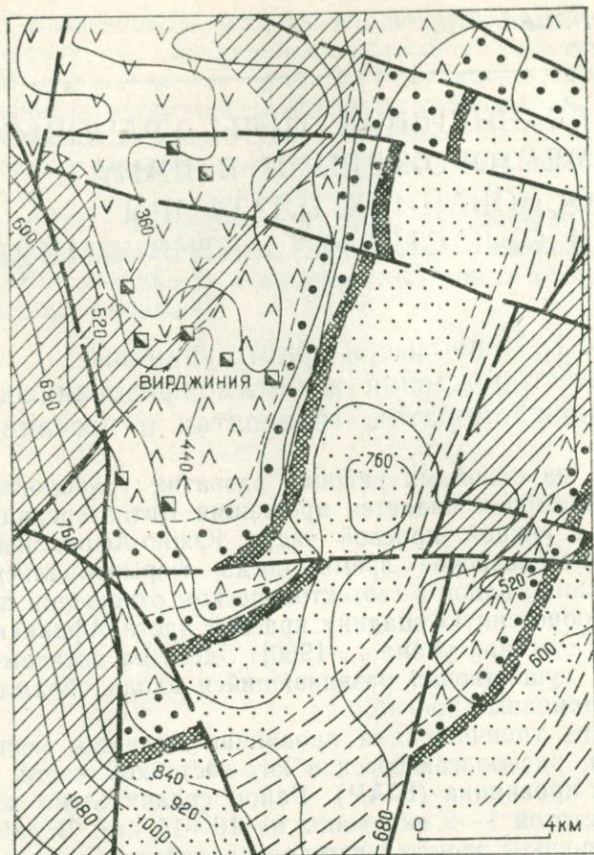


Рис. 1. Геологическая карта района месторождения Вирджиния (со снятыми отложениями системы Карру) [Coetzee С. В., 1960 г.].

1—3 — нижнепротерозойская система Вентерсдорп: 1 — верхние андезитовые лавы, 2 — туфогенные сланцы, кварциты и сланцы, 3 — нижние андезитовые лавы; 4—7 — нижнепротерозойская система Витватерсранд: 4 — кварциты, гравелитистые конгломераты, 5 — кварциты, конгломераты, в том числе золото-ураноносные рифы Лидер, Базальный и др., 6 — кварциты, метапесчаники, 7 — сланцы; 8 — разломы; 9 — изогипсы подошвы системы Карру, м; 10 — рудники.

тами, песчаниками, кварцитами. От подошвы вверх по разрезу располагаются рифы: Базальный, Лидер, «В», «А», Эльсбург. Площадное распространение и строение зоны рифов показаны на специальной карте глубин рифовой зоны (рис. 2), отчетливо подчеркивающей сложную тектонику отдельных блоков (по типу «битых тарелок»).

Для района месторождения характерно повторение выходов рудоносных рифов на поверхность до Карру, что отвечает много-

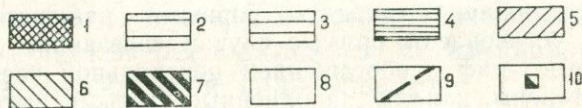
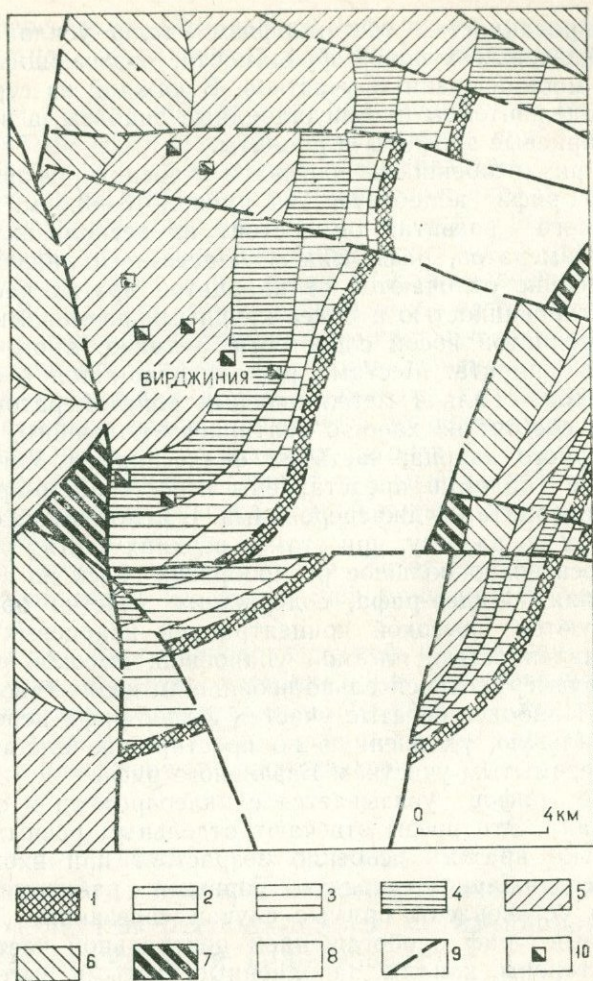


Рис. 2. Глубинное положение толщ золото-ураноносных конгломератов района месторождения Вирджиния [Coetzee С. В., 1960 г.].

1 — выходы конгломератов на поверхность подошвы отложений системы Карру; 2—7 — глубины залегания конгломератов, км: 2 — до 0,8, 3 — 0,8—1,2, 4 — 1,2—1,6, 5 — 1,6—2,4, 6 — 2,4—3,2, 7 — более 3,2; 8 — отложения, подстилающие золото-ураноносные конгломераты; 9 — разломы; 10 — рудники.

кратным взбросам рифовой зоны при среднем падении рифов около 15° на фоне в целом синклиальной структуры рудного поля месторождения. Наиболее важные промышленные горизонты металлоносных конгломератов приурочены к нижней части верхней подсерии серии Витватерсранд. Однако отдельные горизонты золото-урановых конгломератов установлены и выше в составе серии Вентерсдорп. Указанные серии, вмещающие конгломераты, разделенные несогласиями, имеют много общего между собой. Для них характерны сравнительно низкая степень метаморфизма

и дислоцированность. Метаморфизм толщ усиливается лишь вблизи гнейсовых куполов фундамента, отвечающих, вероятно, ядрам его мобилизованных участков. В каждой из серий присутствуют мандельштейны и амигдалоидные диабазы, а в Доминион-Рифе — кварцевые порфиры и риолиты.

Рассмотрим особенности состава и строения рифов. Мощность базального рифа колеблется от нуля до 3—3,5 м. В участках максимального развития он состоит из нескольких (до 5—6) слоев конгломератов, разделенных пластинами и линзами кварцитов. Последние отличаются от кварцитов других частей толщи слабой сортированностью и более крупными размерами обломков, наличием реликтов косой слоистости, а также многочисленными стяжениями пирита. Местами риф превращается в один пласт конгломератов. Гальки металлоносных конгломератов размером до 4—7 см состоят из хорошо окатанного молочного, белого или дымчато-черного кварца, часть их опалесцирует. Менее окатанные мелкие обломки представлены известковисто-кремнистыми сланцами, кварцитами, джаспероидами. В целом их размер уменьшается вверх по разрезу, при этом в верхних частях рифов отмечается относительно большое разнообразие галек по составу.

Отложения Лидер-риф, содержащие участки богатых руд, характеризуются высокой концентрацией кварцевых галек, их хорошей окатанностью, плотной упаковкой, высокой сортированностью по размеру, относительно небольшим количеством прослоев кварцитов. Наиболее богатые участки Лидер-риф нередко имеют в плане овальную, удлинненную по простиранию пласта форму и отвечают перемытым участкам Базального рифа.

Развитие рифов увязывается с палеоврезами в отложениях Витватерсранд. Эти врезы отвечают отдельным речным долинам, рудоносность врезов особенно возрастает при вхождении их в озокеритсодержащие кварциты. Горными работами на шахте Вирджиния установлены прямые случаи «врезания» Лидер-риф в Базальный риф с обогащением центральной части первого. С другой стороны, каналы, заполненные чистыми высокосортированными кварцитами, не содержат золота и урана, исключая спорадическое появление золота вблизи днища каналов при наличии пирита, но при отсутствии тухолита или урансодержащих гидрокарбонатов («вторичных» урановых минералов).

Как правило, уранинит и самородное золото, являющиеся главными рудными минералами, встречаются в мелких зернах (доли миллиметра) вместе с пиритом и другими сульфидами в кварцевой матрице конгломератов. Промышленные концентрации ограничиваются маломощными (десятки сантиметров) слоями конгломератов, протягивающимися на большие расстояния (до сотен метров и первых километров). При этом уран и золото, как правило, распределены равномерно — урана в среднем около 0,02 %. При сравнении содержаний урана в различных рифах наибольшие концентрации его характерны для Базального рифа в целом и для отдельных участков Лидер-риф, отвечающих ло-

кальным перебивам. Отмечаются повышения содержания урана и в участках, обогащенных метаморфизованным органическим веществом.

Изучение условий образования рудовмещающих отложений показывает, что их формирование происходило в прибрежно-морской субконтинентальной обстановке. Непосредственно конгломерат-содержащие пачки являются частью отложений погребенных русел речной сети, особенно ее устьевых частей. Накопление их шло в сравнительно узких изолированных прогибах, в отдельных случаях грабенообразного типа, среди слаборасчлененной равнинной местности. В областях сноса, а временами непосредственно в областях накопления происходило формирование кор выветривания. Большая мощность отложений, хорошая сортированность осадков, признаки мелководья и другие указывают на длительность прогибания бассейнов осадконакопления по сравнению с периодами стабилизации и даже восходящих движений. Наличие эффузивных образований свидетельствует о существенной тектонической подвижности данного участка земной коры в период образования рудовмещающих толщ.

Генезис урана в конгломератах Витватерсранда в настоящее время большинством исследователей принимается как первично-осадочный.

В качестве общих закономерностей проявления ураноносных конгломератов следует подчеркнуть их приуроченность к нижнепротерозойским перикратонным бассейнам, выполненным своеобразным рядом осадков. Они залегают ниже первых известняковых пачек и ниже первых красноцветов.

4.2. Урановые месторождения в пегматоидных гранитах и кварц-микроклиновых метасоматитах областей регионального метаморфизма и интенсивной гранитизации

Месторождения этой формации пользуются наибольшей распространенностью в докембрии, приурочены к областям кратонизации и тесно связаны с проявлением раннепротерозойской и частично позднеархейской и позднепротерозойской эпох гранитизации. Они известны на Канадском (Шарлебуа, Банкрофт и др.), Западно-Бразильском, Индийском и других щитах, где составляют не менее 50 % общего числа зарегистрированных проявлений радиоактивной минерализации. Своеобразным минеральным типом среди них являются ураноносные пегматиты с танталониобатами (Бразилия, Швеция, Канада и др.). Их разработка связана в основном с добычей тантала, ниобия и редких земель при попутном извлечении урана. Самостоятельное значение имеет уранинитовая минерализация в кварц-микроклиновых метасоматитах и пегматоидах.

По механизму образования, вещественному составу руд и вмещающих пород с образованиями рассматриваемой формации могут быть сопоставимы и ураноносные пегматиты областей активизации. Характерным примером крупных промышленных месторождений урана среди них является месторождение Россинг в Намибии. Уранинитовые руды в неzonальных кварц-микроклиновых пегматитах там имеют возраст 510 ± 40 млн. лет.

Типичным примером объектов уранинитовой минерализации в кварц-микроклиновых метасоматитах может служить месторождение одного из районов развития докембрия СССР. Юго-западная часть этого рудного района сложена архейскими гиперстеновыми, двупироксеновыми, амфибол-пироксеновыми гнейсами и кристаллическими сланцами с прослоями амфиболитов и мраморов, претерпевших метаморфизм гранулитовой фации. Ультраметаморфические образования представлены маломощными согласными телами плагиогранитов и мигматитов также архейского возраста. Те и другие смяты в сложную систему складок различной ориентировки. Все указанные разновидности пород характеризуются низкими содержаниями урана ($< 2-3$ г/т) и тория ($< 20-25$ г/т).

В северо-восточной части района преобладают архейско-раннепротерозойские биотитовые, амфибол-биотитовые, амфибол-пироксеновые, гиперстеновые и графитсодержащие разности гнейсов, обычно чередующиеся между собой. Гнейсы здесь испытали преобразования гранулитовой и амфиболитовой (прогрессивной и регрессивной) фаций метаморфизма. Они слагают системы линейных складок северо-западного простирания. Для этой части района характерно широкое развитие производных ультраметаморфизма раннепротерозойской эпохи с радиологическим возрастом 2,1—1,9 млрд. лет. Они представлены комплексом биотит-плагиомикроклиновых гранитов и мигматитов, образующих ряд крупных массивов и мигматитовых полей.

Среди гнейсов различного состава повышенными содержаниями урана выделяются биотитовые и особенно графитовые разности — до $(3 \div 8) \cdot 10^{-4}$ %. Рядом исследователей графитсодержащие гнейсы рассматриваются в качестве одного из главных источников металла при формировании урановых руд. Неоднородность физико-механических свойств гетерогенной по литологическому составу толщи гнейсов способствует развитию внутрислоевых движений, наиболее полно проявившихся при гранитизации и, в частности, при образовании жилообразных тел пегматоидных гранитов и пегматитов, а также при последующем формировании ураноносных кварц-микроклиновых метасоматитов.

Размещение ураноносных кварц-микроклиновых метасоматитов и пегматитов контролируется глубинным разломом, разделяющим район на юго-западный и северо-восточный блоки. Время его заложения близко к проявлению завершающих стадий гранитизации. Разломы этой системы характеризуются длительным разви-

тием и представлены сочетанием последовательно формирующихся зон мигматизации, смятия и будинажа, поясами и цепочками жилообразных тел аплитов, пегматоидных гранитов и пегматитов и сопровождаются меньшими по мощности зонами и швами бластомилонитов и бластокатаклазитов амфиболитовой фации и более поздними милонитами и катаклазитами зеленосланцевой фации [Крупенников В. А., 1978].

Ураноносные метасоматиты и пегматоиды приурочены к участкам пересечения разломами пачки биотитовых, биотит-гиперстеновых, биотит-амфиболовых, гиперстеновых или амфиболовых и графитсодержащих гнейсов либо к участкам изгиба разломов по падению и простиранию. Именно в этих участках резко возрастает объем пегматоидных жил и интенсивность проявления калиевого и кремний-калиевого метасоматоза, ведущих к концентрации урана.

Урановая минерализация локализуется в жилообразных телах пегматоидных гранитов, аплитов и пегматитов, завершающих формирование комплекса плагиомикроклиновых гранитоидов раннепротерозойской эпохи ультраметаморфизма, а также в кварц-микроклиновых метасоматитах, развитых по ним. Пегматоиды и метасоматиты образуют вдоль крупных зон разломов серии субпараллельных жил, объединяющихся в цепочки и пояса шириной от нескольких десятков метров до 1,5—2,0 км и протяженностью 10—25 км. Пегматоидные граниты, аплиты и пегматиты характеризуются отношением $K/Na \approx 1,5 \div 1,8$ [Егоров Ю. П., Сухинин А. Н., 1969] и, как правило, повышенными содержаниями редких земель (группа церия), урана — до $(10 \div 15) \cdot 10^{-4} \%$. Чаще всего они имеют простое незональное строение и сложены разнозернистым пертитизированным микроклином (35—50%), кварцем (20—35%) и олигоклазом (15—20%). Темноцветные минералы представлены биотитом и гиперстеном (или амфиболом) (до 10%), аксессуарии — монацитом, малаконом, апатитом, гранатом.

Локальные участки проявления кремний-калиевого метасоматоза, определяющие положение ураноносных структур, выделяются ореолами повышенных и аномальных содержаний урана (более $10^{-3} \%$) с торий-урановым отношением менее 0,5—2,0. Основными носителями урана здесь являются уранинит, апатит, циртолит и редко настуран. Элементы-спутники урана: молибден, свинец, фосфор, а также часто медь, мышьяк, висмут и редкоземельный иттербий. Эти элементы образуют протяженные и интенсивные ореолы, что позволяет использовать для поисков месторождений этого типа и геохимические методы.

Распределение уранового оруденения в кварц-микроклиновых метасоматитах и пегматоидах неравномерное и обычно представлено шширами с сечением в несколько метров. Шширы объединяются в группы протяженностью в десятки метров. Месторождение представляет собой сообщество шширов, образующих залежи, окаймленные убогим оруденением. Значение торий-уранового от-

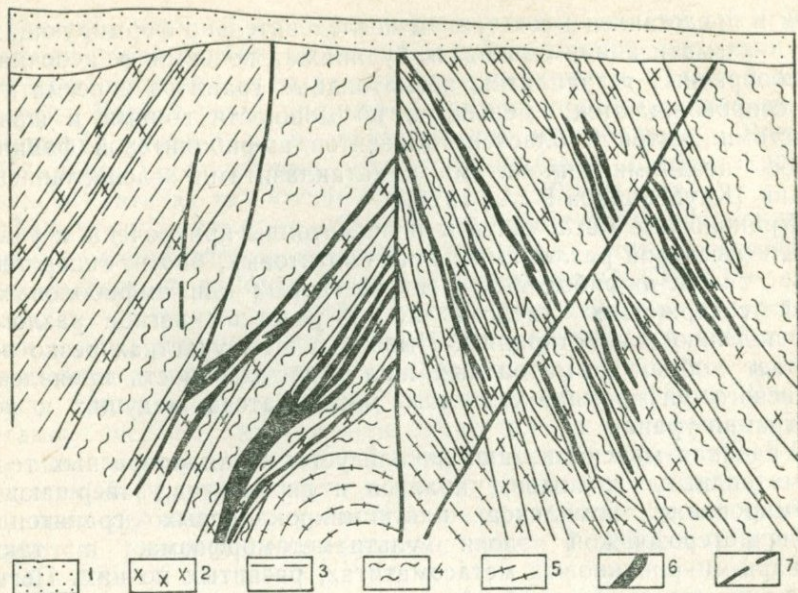


Рис. 3. Геологический разрез через месторождение урана в кремний-калиевых метасоматитах.

1 — четвертичные отложения; 2 — пегматоидные граниты; 3 — гранат-биотит-кордиеритовые гнейсы; 4 — биотит-графитовые гнейсы; 5 — мигматиты по амфибол-биотитовым гнейсам; 6 — рудные тела; 7 — зоны разломов.

ношения в рудах от 0,5 и менее до 1,5—2,0. Форма рудных тел линзо- и пластообразная (рис. 3) при соотношении размеров тел по падению, простиранию и мощности 150 : 100 : 1 или 300 : 200 : 1.

Руды представлены темным кварцем (до 70—80 %) и микроклином, часто в ассоциации с биотитом, иногда гиперстеном или амфиболом, а также сульфидами молибдена, железа, свинца, меди, мышьяка, магнетитом, гематитом и самородным висмутом. Урановая минерализация представлена уранинитом, ассоциирующим с апатитом, а также нередко урансодержащими бреггеритом, монацитом, циртолитом, ксенотимом, цирконом. В условиях гипергенеза возникают коффинит, урановые черни, отенит, уранофан и другие вторичные минералы урана. Пострудные образования представлены редкой сетью тонких прожилков кварца, карбонатов, хлорита и сульфидов.

Накопление урана, тория и редких земель связано с развитием калиевого и кремний-калиевого метасоматоза, продолжающих общую направленность миграции элементов при гранитизации. Как и при изучении многих районов земного шара, в данном рудном районе установлено, что при усилении калиевого метасоматоза гранитоидные породы обогащаются преимущественно торием (монацит, торит и др.), а в связи с последующим нарастанием интенсивности кремний-калиевого метасоматоза увеличивается кон-

центрация урана (уранинит, апатит и др.). Циркон-монацитовая минерализация в гранитоидах является более ранней и лишь иногда сопровождается ранним уранинитом. Она никогда не создает крупных скоплений урана и носит аксессуарный мелкогнездовой характер, являясь косвенным указателем на возможную область проявления ураноносных кремний-кальевых метасоматитов. Последние развиваются по всем типам вмещающих пород, избирательно приурочиваясь к пегматоидным разностям гранитов. Метасоматиты обычно характеризуются нечеткой и не на всех месторождениях проявленной зональностью с различным соотношением трех зон обобщенной колонки. Внешняя зона изменения фиксируется по замещению гиперстена (или амфибола) высокожелезистым биотитом. Для промежуточной зоны характерны замещение кварца микроклином и собирательная перекристаллизация биотита, гиперстена и амфибола с образованием крупнозернистых агрегатов, достигающих в поперечнике 10—30 см и более; внутренние зоны, напротив, почти всегда обогащены кварцем и отличаются повышенной рудоносностью.

Урановые месторождения этого типа большинством исследователей относятся к типично ультраметаморфическим по генезису с радиологическим возрастом руд 2100—1800 млн. лет. Температурный интервал рудообразования составляет 450—350 °С [Тугаринов А. И., Наумов Г. Б., 1969].

Изложенный материал показывает, что прямыми признаками ураноносности геологических структур на рассматриваемый тип оруденения являются:

1) рудопроявления и проявления уранинитовой минерализации в кварц-микроклиновых метасоматитах и пегматоидах;

2) наличие специализированных на уран пегматоидных гранитов, пегматитов, аплитов, графитосодержащих и других гнейсов, образующих региональные аномальные геохимические зоны и соответствующие им металлогенические подразделения;

3) повышенные концентрации урана в гранитоидах и сопряженных с ними метасоматитах (зонах привноса урана, первичных и вторичных ореолов урана) при высокой доле подвижной составляющей ($U_{\text{подв}} > 20\%$) и резко неоднородном распределении металла ($V_U \geq 50\%$). Зоны привноса урана в пределах региональных аномальных зон выделяются резко пониженными значениями торий-уранового отношения (менее 2 на фоне 5—8 и более);

4) комплексные высококонтрастные аномалии подземных вод ($U \geq n \cdot 10^{-5}$, $Ra \geq n \cdot 10^{-11}$ г/л, $Rn \geq 3,7 \cdot 10^2$ Бк/л).

Косвенные поисковые признаки ураноносных структур:

1) приуроченность аномальных геохимических зон к разломам сложного внутреннего строения и длительного развития;

2) преобладание среди рудовмещающих гранитоидов плагио-микроклиновых разностей с $K/Na > 1,6$;

3) ореолы повышенных концентраций и неоднородное распределение элементов-спутников урана — молибдена, свинца, фосфора, а также меди, мышьяка, висмута и редкоземельных (иттрий);

4) радиометрические аномалии и скопления урана в коре выветривания и перекрывающем фундамент осадочном чехле ($0,7 \cdot 10^{-2} \%$ и более).

Исходя из условий ведения работ, определяемых конкретной ландшафтно-геохимической обстановкой, и геологических особенностей прогнозируемого оруденения, их выражения в прямых и косвенных признаках комплекса поисковых методов может несколько изменяться; важно, чтобы он с достаточной полнотой фиксировал намеченные особенности концентрации урана в ходе гранитизации и сопряженного с ней кремний-калиевого метасоматоза. Особо следует отметить, что, как показывает опыт мировой практики изучения и разработки этих месторождений, проведение прогнозных и поисковых работ масштаба 1:50 000 и детальнее рентабельно только для оценки крупных объектов и структур с определившимися в региональном плане перспективами.

4.3. Урановые месторождения в натровых и карбонатных метасоматитах по ультраметаморфическим и железистым породам областей протоактивизации

Геология и вопросы генезиса этих месторождений широко известны из публикаций Я. Н. Белевцева и др. [1979], Р. П. Петрова и др. [1969], В. И. Казанского и др. [1978] и других исследователей. Было установлено, что распространение ураноносных альбититов не ограничивается областями развития железистых кварцитов. Они широко развиты и за их пределами, среди гранитоидов протерозоя с радиологическим возрастом 2100—1900 млн. лет. Возраст оруденения близок к 1750 млн. лет. Лучшее всего особенности локализации руд изучены на примере щитов Советского Союза [Структурные особенности... , 1973; Казанский В. И. и др., 1978; Казаков В. С. и др., 1968, и др.]. Упомянутые работы и положены в основу настоящего раздела.

Ураноносные альбититы локализуются в блоке протерозойской стабилизации одного из щитов древней платформы и ограничивающих его зонах межблоковых разломов. История геологического развития этого геоблока связана с заложением на архейском складчатом основании раннепротерозойской протогеосинклинали и формированием инверсионных мигматит-гранитных массивов с дальнейшей их активизацией в позднем протерозое. Этому блоку свойственны близкие к кларковым или несколько повышенные содержания урана в слагающих комплексах пород и метасоматических производных — $U_{\text{ср.}} \geq (2 \div 5) \cdot 10^{-4} \%$, неравномерное зонально проявленное распределение урана ($V_n = 40 \div 50 \%$), определяющее положение аномальных геохимических зон.

В геологическом строении урановорудного района принимают участие биотитовые, реже биотит-амфиболовые и биотит-кордиери-

товые гнейсы и ультраметаморфические производные, плагио-микроклиновые граниты, мигматиты и пегматоиды. Гнейсы метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации и смяты в систему сравнительно простых складок субмеридионального простирания. Центральную часть рудного района занимает крупный мигматит-гранитный массив, разбитый серией диагональных и ортогональных разломов различных порядков. Большая часть этого массива сложена крупнозернистыми трахитоидными и порфиоровидными плагиомикроклиновыми гранитами, сменяющимися к периферии среднезернистыми гранитами и мигматитами.

Рудоносные отрезки структурно-металлогенических зон, вмещающие месторождения, охватывают площади шириной от 3—5 до 10 км и протяженностью 10—30 км. Размещение ураноносных метасоматитов контролируется длительно развивающейся системой региональных разломов и особенно участками их сочленения. Характерны две обстановки локализации урановых месторождений: в региональных разломах экзоконтактовой и внутренней частей крупного мигматит-гранитного массива. В обоих случаях натровые метасоматиты развиваются в зонах дислокационного метаморфизма зеленосланцевой фации (диафторитов), часто наследующих древние зоны пластических и иных деформаций более высоких термодинамических уровней [Казаков В. С. и др., 1968; О структурных и петрологических условиях..., 1968]. Последние фиксируются зонами смятия, будинажа, субпараллельными телами пегматоидных гранитов, пегматитов, аплитов, швами бластомилонитов и бластокатаклизитов и др.

Альбититы и диафториты ориентированы по простиранию и падению зон разломов. Наиболее интенсивно альбитизация и диафторез проявлены в участках изгиба разломов по падению и простиранию, в местах их расщепления и сочленения. Здесь чаще всего образуются зоны объемного катаклаза, вмещающие крупные тела метасоматитов и руд.

Для рудоносных альбититов характерно широкое развитие реликтовых катакластических структур. Вместе с тем натровые метасоматиты подверглись и более поздним деформациям с возникновением повторного катаклаза и перетиранья пород, а местами брекчиевидных и микробрекчиевых текстур. Именно в этих наложенных на альбититы зонах повторного катаклаза и локализуется урановое оруденение.

Пострудные тектониты представлены зонами повышенной трещиноватости, дробления с глинками трения, брекчий с кварцевым цементом и реже диаклазами; указанные зоны фиксируются и дайками различного состава. С формированием этой группы тектонитов связано образование зон окисления урановых месторождений, иногда с убогой вторичной (обычно черниевой) минерализацией в приповерхностных частях разрывных структур, и частичное разрушение альбититов и руд. В соответствии с типом вмещающих пород среди ураноносных альбититов выделяются апогранитные, апомигматитовые и апогнейсовые разности. Натро-

вый метасоматоз и урановое оруденение предпочтительнее развиваются по породам гранитного состава. Это обусловлено тем, что проницаемость гранитизированных пород и гранитов почти на порядок выше, чем гнейсов. В свою очередь большая проницаемость натровых метасоматитов и особенно их катаклазированных разностей по сравнению с гранитами, мигматитами и гнейсами определяет избирательную локализацию в них рудных залежей [Беляев Я. Н., 1979].

Различием в физико-механических свойствах горных пород объясняется и избирательная приуроченность трещинно-катакластических структур к экзоконтактовым зонам крупных массивов гранитов, к участкам их внутренней расслоенности и неоднородности, к краевым и сводовым частям линзообразных тел и мелких массивов гранитов. Пространственно большинство ураноносных альбититов располагается среди гранитоидов раннего протерозоя, характеризующихся $K/Na \geq 1,4 \div 1,6$ при сумме щелочей 7,0—8,5 % и содержаниями урана, близкими к кларку гранитов. В экзоконтактовых зонах крупных массивов гранитов натровые метасоматиты тяготеют к участкам развития жило-, линзо- и овалообразных конкордантных тел и мелких массивов мелко- и среднезернистых лейкократовых и биотитовых гранитов, завершающих проявление процессов гранитизации. Концентрация урана в них в 1,5—2,0 раза больше, а значение торий-уранового отношения обычно понижено по сравнению с гранитоидами главной фазы. Положение этих гранитоидов соответствует наиболее тектонически ослабленным и проницаемым частям крупных зон разломов в начальный период их развития. Эти зоны фиксируются роями жилообразных тел пегматоидных гранитов, пегматитов и аплитов.

Натровые метасоматиты обычно имеют нечеткое зональное строение. В обобщенном виде среди метасоматитов могут быть выделены три зоны: внешняя — слабоальбитизированных пород ($ab \leq 10 \div 15 \%$), промежуточная — десилицированных альбит-микроклиновых метасоматитов ($ab > 15 \%$) и внутренняя — альбититов ($ab \geq 70 \%$). Урановая минерализация развивается только среди альбититов. Урановое оруденение представлено метасоматическими залежами, в которых собственно альбититы по объему составляют более 60 %.

Детальные минералогические исследования свидетельствуют о существовании первичной и наложенной зональности в альбититах [Минеева И. Г., Копченова Е. В., 1976]. В модели первичной поперечной и продольной зональности альбититов по мере продвижения от периферии тел к центру происходит смена эпидот-хлоритовых фаций эпидот-рибекит-хлоритовыми, эгирин-рибекитовыми, рибекит-эгириновыми и эгириновыми. При развитии метасоматического процесса на регрессивной стадии происходит смена натрового метасоматоза натрий-углекислым, что приводит к формированию поздней, более низкотемпературной ассоциации минералов, включающей хлорит, гематит, карбонаты и замещающей первичную щелочную ассоциацию. Месторождения урана локали-

зуются только в участках зон совмещения первичной и наложенной (рудной) зональности альбититов. Рудоотложение происходило в ограниченных по объему участках повторного катаклаза альбититов при падении щелочности раствора и усилении роли углекислоты (натрий-карбонатного метасоматоза). Процессы щелочного метасоматоза сопровождались существенным привнесом Na_2O , Al_2O_3 , CO_2 и выносом SiO_2 и K_2O . Кроме петрогенных элементов привносятся уран, свинец, цирконий, бериллий, стронций и частично титан, ванадий, фосфор. Из перечисленных элементов только свинец, цирконий, ванадий и иногда титан образуют выдающиеся оконтуриванию первичные ореолы вокруг урановорудных тел, но они по своим размерам меньше контура аномальных концентраций урана. В связи с этим данные по элементам-спутникам урана в метасоматитах целесообразно использовать при оценке и разбравке аномалий, а также при решении ряда вопросов, связанных с вертикальной зональностью оруденения.

Форма рудных тел на урановых месторождениях этого типа наследована от альбититов и является линзообразной и редко столбообразной (рис. 4). Распределение уранового оруденения по вертикали сложное. Наряду с эродированными залежами, распространяющимися до глубины 150—450 м, имеются и слепые залежи в пределах этих же глубин, а также рудные тела, развивающиеся только с глубины 150—300 м. Руды имеют алюмосиликатный состав и относятся к монометалльным урановым. Месторождения рассматриваемого района относятся к уранинит-браннеритовому минеральному типу. Первичные урановые минералы ранней стадии рудообразования представлены редкими тонковкрапленными кристаллами браннерита, давидита и уранинита, приуроченными к эггрин- или рибекитсодержащим альбититам. Температура образования минералов этой стадии 320—200 °С [Белевцев Я. Н., 1979]. При наложении минералов главной рудной, стадии, связанной с натрий-углекислым метасоматозом, на первичные минералы урана среди продуктов их разрушения образуются трудно диагностируемые титанаты, силикаты, окислы и гидроксиды урана. Оптимальный температурный интервал отложения урановых минералов главной рудной стадии 250—150 °С. В третью — пострудную — стадию (температурный интервал формирования 150—120 °С) образовались скопления и прожилки кварца, карбонатов, хлорита, эпидота, гидробиотита и незначительные количества переотложенных урановых черней и настурана.

Распределение урановых минералов в рудах тонковкрапленное, реже гнездообразное и тонкопрожилковое. Урановые минералы в альбититах распределены сравнительно равномерно, тяготея к их внутренней зоне. Они пропитывают и замещают тонкообломочный цемент катаклазированных альбититов, слагают прерывистые зонки, чаще всего образуя микробрективную текстуру.

В настоящее время существуют различные взгляды на генезис рассматриваемых месторождений. Большинство исследователей считает их среднетемпературными гидротермально-метасомати-

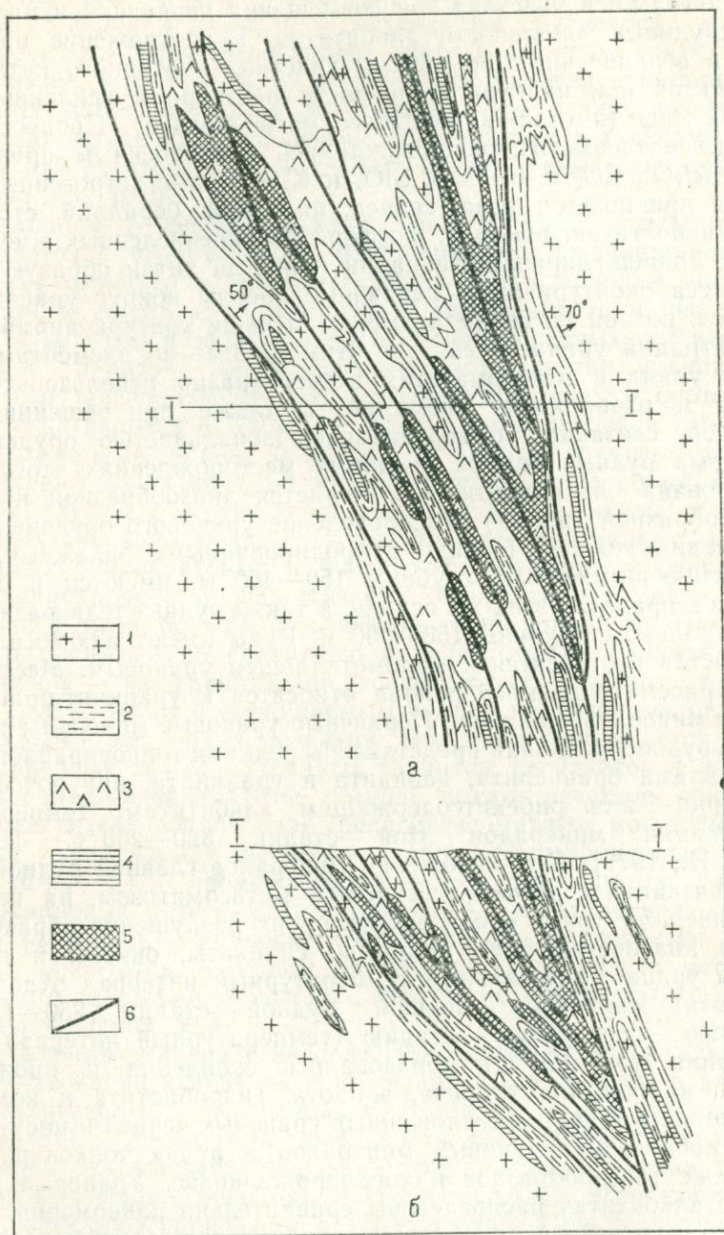


Рис. 4. Геологический план (а) и разрез (б) месторождения урана в альбититах [Казаков В. С. и др., 1968].

1 — граниты; 2 — гнейсы; 3 — пегматиты; 4 — альбит-микроклиновые метасоматиты и альбититы; 5 — рудные залежи; 6 — разрывные нарушения.

ческими с чрезвычайно длительным и сложным сочетанием подготовительных и рудообразующих процессов, включающих региональный метаморфизм амфиболитовой или зеленосланцевой фации, ультраметаморфизм, дислокационный метаморфизм зеленосланцевой фации и щелочной (натровый и натрий—углекислый) метасоматоз. Источник урана связывается с многократным преобразованием пород в зонах глубинных разломов.

На основе изложенного к числу прямых поисковых признаков ураноносности геологических структур данного типа относятся:

1) месторождения, рудопроявления и проявления урановой минерализации в альбититах и альбит-микроклиновых метасоматитах;

2) наличие пород, специализированных на уран (мелко-среднезернистых гранитоидов, пегматитов, диафоритов и др.), и радиогеохимических зон нарушенного первичного распределения урана и радиогенного свинца, имеющего возраст промышленного оруденения;

3) аномальные и повышенные концентрации урана в альбититах и сопряженных метасоматитах (зонах привноса урана, первичных и вторичных ореолов урана) при высокой доле подвижной составляющей (более 25 %) и резко контрастном распределении металла ($V_U = 50\%$). Особенно четко здесь фиксируется обогащение ураном темноцветных минералов метасоматитов: эпидота, хлорита, рибекита и др.;

4) высококонтрастные аномалии подземных вод ($U > 10^{-5}$ г/л, $Ra > 10^{-11}$ г/л, $Rn > 50$ эман, $^{234}U/^{238}U > 3$) гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого состава с $pH = 7,6 \div 8,0$.

Косвенными поисковыми признаками ураноносных структур являются:

1) проявление в пределах долгоживущих зон разломов сложного внутреннего строения процессов дислокационного метаморфизма зеленосланцевой фации и натрового метасоматоза с последующим предрудным катаклизмом альбититов и альбит-микроклиновых метасоматитов;

2) преобладание по объему (более 70 %) в составе натровых метасоматитов собственно альбититов. Альбит-микроклиновые метасоматиты изучаются только с целью возможного обнаружения по латерали и вертикали участков, сложенных преимущественно альбититами;

3) ореолы повышенных концентраций и неоднородное распределение геохимических индикаторов урановых руд (Pb, Be, CO_2 , и др.) в пределах зон натровых метасоматитов;

4) радиометрические аномалии и скопления урана в коре выветривания и перекрывающем фундаменте осадочном чехле, в том числе в моренных отложениях.

По вещественному составу метасоматитов и руд и особенностям формирования данный тип ураноносных альбититов сходен с месторождениями урана Голдфилдс в эйситах района оз. Биверлодж Канадского щита, Арьеplug Балтийского щита (Северная Шве-

ция). Те и другие не имеют явной связи с конкретными ультраметаморфическими или магматическими комплексами, характеризуются четким структурным контролем локализации, формирование оруденения происходило в результате проявления щелочно-карбонатного метасоматоза при отсутствии опережающей волны кислотного компонент. Все это позволяет изложенные принципы прогнозирования месторождений урана в среднетемпературных альбититах во многом использовать и применительно к ураноносным эйситам. Однако различие в составе вмещающих пород, температурных условиях образования, а соответственно и в составе метасоматитов и руд предопределяет и определенное отличие при прогнозировании месторождений этих рудных формаций.

4.4. Урановые месторождения в зонах кальций-магнезиального метасоматоза в углеродсодержащих сланцах, песчаниках и доломитах протоплатформенных комплексов

Месторождения этой урановорудной формации (Наберлек, Райнджер, Кунгарра, Джабилука) вывели Северную Австралию в число крупнейших урановорудных провинций мира. Месторождения занимают однотипную позицию в региональных геологических структурах. Они приурочены к нижнепротерозойским слабо-метаморфизованным существенно терригенно-карбонатным (песчано-сланцево-доломитовым) миогеосинклинальным отложениям формации Кулпин и ее аналогов, входящих в группу Гудпарла системы Эджиконди и залегающих на архейских интенсивно гранитизированных и метаморфизованных породах. В составе группы Гудпарла и залегающей выше по разрезу группы Аллигайтор в разрезе встречается большое количество углеродисто-кремнистых сланцев, в которых, по данным Д. Е. Айриеса и П. И. Эдингтона [Ayres D E., Eadington P. J., 1975], содержится до 3,3 % углерода, 330 г/т бора и бария, 100 г/т урана, а также никель, кобальт, медь, хром, марганец, вольфрам и свинец.

Главнейшие особенности строения этой группы месторождений рассмотрим на примере месторождения Джабилука, описание которого дается по Д. Мошеру и Д. Роунтри [1980], М. Р. Хегге [Hegge M. R., 1977] и ряду других исследователей. Месторождение располагается у границы равнинного района с высотами от 10 до 50 м над уровнем моря и плато Арнемленд, поднятого над равниной на 250 м. Оно приурочено к метаморфизованным осадочным породам, слагающим пологую синклиналь широтного простирания, вскрывающуюся в эрозионном окне среди песчаников и конгломератов перекрывающей формации Комболги (рис. 5). Выделяемые австралийскими геологами месторождения Джабилука-I и II являются по сути разобщенными на 500 м рудными телами одного месторождения, причем месторождение Джаби-

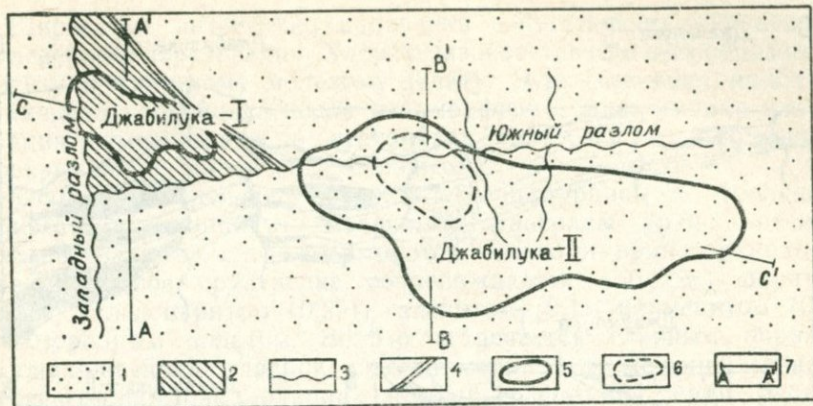


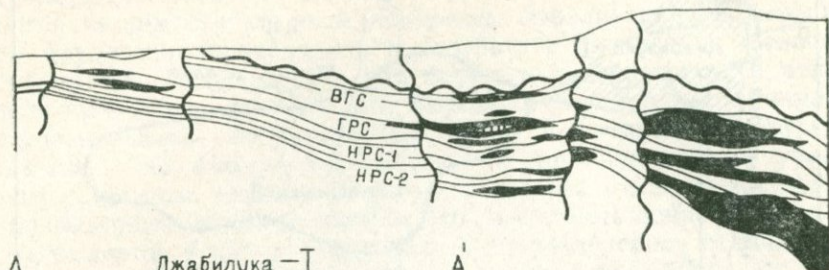
Рис. 5. Генерализованная геологическая карта уранового месторождения Джабилука [Hegge M. R., Rowntree J. C., 1978].

1 — Формация Комболги; 2 — формация Кэхилл; 3 — разрывные нарушения; 4 — несогласие; 5 — проекция ареала уранового месторождения; 6 — проекция ареала золоторудного месторождения; 7 — линии геологических разрезов.

лука-II перекрыто песчаниками формации Комболги и является слепым.

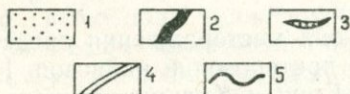
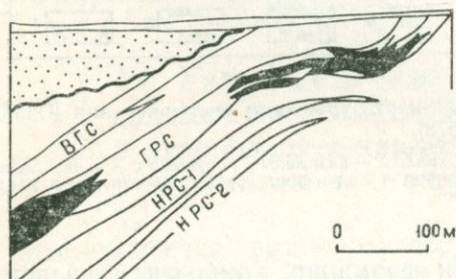
Стратиграфический разрез района месторождения представлен отложениями нижнего и среднего протерозоя и кайнозоя. Нижнепротерозойские формации Фишер-Крик и Кулпин сложены амфиболитами, мусковит-магнетитовыми, кварц-мусковит-хлоритовыми, хлоритовыми, хлорит-графитовыми сланцами и доломит-магнезитовыми породами. Рудная серия в пределах этих формаций мощностью 15—70 м представлена хлорит-графитовыми, кварц-графитовыми, кварц-мусковит-графитовыми, хлоритовыми сланцами и доломит-магнезитовыми породами. Породы этих формаций прорваны дайкообразными телами турмалиновых гранитных пегматитов мощностью от 1 до 15 м и реже более молодыми дайками фonoлитов мощностью до 1,5 м. Выше лежащие песчаники, конгломераты и базальты формации Комболги лежат с четким несогласием на нижнепротерозойских отложениях.

Для всех месторождений на фоне стратиграфического фактора рудоконтроля характерен структурный контроль главным образом зонами сбросов и брекчирования. Рудная серия состоит из нескольких пачек (рис. 6). Верхняя пачка представлена близкими по составу графитовыми пиритизированными и кварц-графитовыми сланцами. На месторождении Джабилука-I они являются маркирующим горизонтом (мощность 1—11 м). Выклиниваясь к востоку и югу, к месторождению Джабилука-II, пачка по составу становится преимущественно хлоритовой. Первая рудная зона субпараллельна графитовой пачке. Наиболее благоприятны для локализации оруденения участки пластов с повышенным содержанием хлорита и увеличенной мощностью.



А Джабилука-I

А'



В Джабилука-II

В'

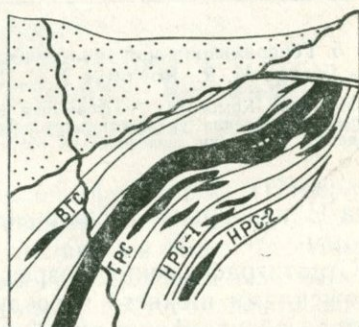


Рис. 6. Геологические разрезы уранового месторождения Джабилука [Hegge M. R., Rowntree J. C., 1978].

1 — песчаники, конгломераты; 2 — урановая минерализация; 3 — золотая минерализация; 4 — несогласие; 5 — разрывные нарушения; ВГС — верхняя графитовая серия; ГРС — главная рудная серия; НРС-1 — первая нижняя рудная серия; НРС-2 — вторая нижняя рудная серия.

Ниже залегают обычно безрудные серые до зеленых сланцы второй пачки мощностью около 16 м. Они лежат на пачке рудноносных хлорит-графитовых сланцев. Нижняя часть рудной серии состоит из двух горизонтов. Первый горизонт представлен кварц-хлоритовыми брекчиями мощностью около 15 м, ассоциирующими с хлоритовыми сланцами. Горизонт брекчий обычно состоит на 50 % из угловатых обломков роговиков размером до 15 мм и кварц-хлоритового цемента, часто с кристаллическим кварцем или кальцитом. Кварц-хлоритовые брекчии и ассоциирующие с ними хлоритовые сланцы являются породами, вмещающими главную массу урановой минерализации. Форма рудных тел линзовидная. Пологие зоны нарушений, нередко сопровождающиеся брекчиями, служили рудопроводящими каналами, а местами и структурными ловушками для оруденения. Зоны нарушений, выполненные глинистым материалом, практически непроницаемы и неблагоприятны для миграции растворов. Руды — массивные и вкрапленные.

Широко и интенсивно проявлена сопутствующая урановому оруденению хлоритизация. Хлорит развивается главным образом по биотиту и калиевому полевому шпату. Эти изменения наиболее интенсивно проявились после метаморфизма. Аналогичная хлоритизация отмечается и в песчаниках Комболги, с несогласием перекрывающих рудоносные отложения.

Урановое оруденение представлено настураном и небольшим количеством уранинита. Вторичные минералы урана — отенит, складовскит и салеит — встречаются только в приповерхностной зоне. Урановое оруденение сопровождается (об. %) пиритом (до 1), халькопиритом (0,25), галенитом (0,1), ильменитом (0,1) и самородным золотом. Золото встречается главным образом в зонах брекчий главной рудной серии и в меньшей степени в графит-хлоритовых сланцах верхней графитовой серии. Бедные руды имеются в серии всячего бока. Мощность пачки с золотым оруденением достигает 12 м при средней мощности 2 м.

По данным М. Р. Хегге [Hegge M. R., 1977], корреляции между содержанием урана и золота в рудах нет, хотя золото наиболее часто встречается в трещинах с настураном. Урановая смолка обычно в сростании с лейкоксеном и рутилом сопровождается, как правило, кварцем и пиритом. В минерализованных брекчиях она окаймляет предпочтительнее хлоритизированные обломки. Общая последовательность минералообразования следующая: в первую стадию образуется кварц-пирит-галенитовая ассоциация; ее сменяет парагенезис хлорита — пирита и смолки, а третья — последняя стадия минерализации представлена кварц-карбонатными прожилками, содержащими вкрапленность галенита и халькопирита.

По мнению большинства исследователей [Образование месторождений урана, 1976], известные в настоящее время данные показывают, что имели место первичное накопление урана в нижепротерозойских осадках и мобилизация и переотложение в структурных ловушках на благоприятных стратиграфических уровнях. Месторождение сформировалось после стадии прогрессивного метаморфизма. М. Р. Хегге приводит следующую схему формирования месторождения Джабилука.

На первой стадии в раннепротерозойском миогеосинклинальном бассейне за счет разрушения гранитных пород архейского фундамента формировались глинистые и хемогенные осадки с повышенным содержанием урана и $C_{орг}$. Во время осадконакопления и раннего диагенеза действовали обычные механизмы переноса. На рубеже примерно 1800 млн. лет назад отмечается интенсивный метаморфизм, сопровождающийся мигматитообразованием и внедрением даек в интенсивно дислоцированные осадочные породы, обрамляющие архейские блоки. В результате перераспределения урана в ходе метаморфизма, вероятно, были уничтожены доказательства более древнего возраста урановых минералов.

Примерно 1500 млн. лет назад за эпохой регионального метаморфизма последовала эпоха эрозии и денудации, которая завер-

шилась отложением конгломератов и песчаников формации Комболги, залегающих на нижнепротерозойских отложениях с резким несогласием. На стадии ретроградного метаморфизма, по-видимому, происходило и переотложение урана. Отложение микрокристаллического хлорита, образовавшегося после стадии ретроградного метаморфизма, предшествовало или сопутствовало стадии ремобилизации урана.

Важнейшее значение для формирования месторождений имела посткомболгйская орогеническая эпоха, проявившаяся примерно 900 млн. лет назад или несколько позднее. Она обусловила перераспределение урана и формирование месторождений, на что указывают данные анализа стабильных изотопов в сопутствующих урановому оруденению сульфидах месторождения Джабилука-И.

Главнейшей особенностью локализации уранового оруденения является пространственная связь этого типа месторождений с протерозойскими эрозионными поверхностями. Все месторождения Северной территории Австралии и сходные с ними месторождения района Атабаска вблизи таких несогласий в Канаде залегают в нижележащих отложениях.

Характерно, что вмещающие отложения представлены преимущественно терригенными и хемогенными интенсивно хлоритизированными породами, содержащими значительное количество пирита и органического углерода. В пределах благоприятных по литологическому составу отложений определившихся стратиграфических уровней ведущим фактором локализации является структурный. Характерно широкое развитие в пределах месторождений хлоритизации, магнезиального метасоматоза, серицитизации. В рудах месторождений в промышленной концентрации присутствует золото.

Существенным, вероятно, является близость к месторождениям урана древних комплексов гранитных мигматитов и сопутствующих им пегматитовых жил. Содержание тория в рудах, как правило, очень низкое.

4.5. Уран-никелевые месторождения в метаморфизованных аркозовых песчаниках и гравелитах (Атабаска, Северный Саскачеван)

Большой интерес для геологов, занимающихся прогнозированием и поисками урана, представляют уран-никелевые месторождения (Рабит-Лайк, Коллинс-Бей, Ки-Лайк, Клифф-Лайк), выявленные в Канаде и близкие по вещественному составу, морфологии рудных залежей и геологической позиции. По формационной принадлежности это оруденение нам представляется правильным отнести к тому же типу, что и урановорудные месторождения Северной территории Австралии (Наберлек, Райнджер, Кунгарра и др.). Основанием этому служит тот факт, что формирование этих месторождений происходило, по мнению ряда исследователей

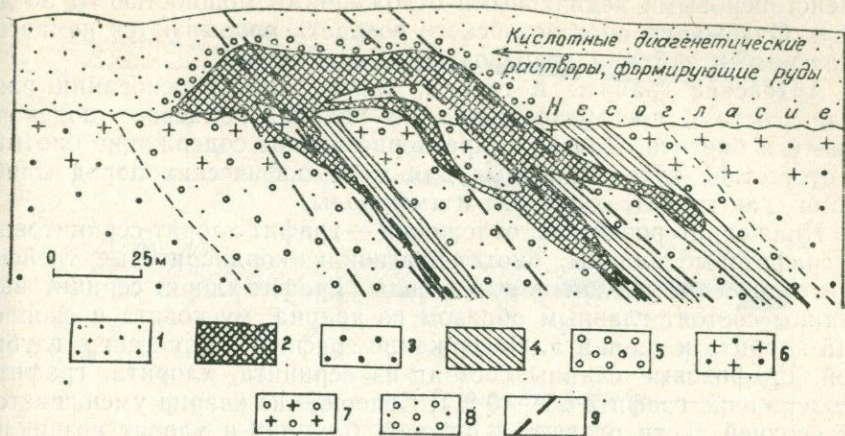


Рис. 7. Схематический разрез через рудное тело, показывающий взаимоотношения между минерализацией, породами основания, песчаниками формации Атабаска и реголитами [Hoeve J., Sibbald Th. J. J., 1978].

1 — формация Атабаска; 2 — рудные тела; 3 — неизменные породы основания; 4 — графитовые метапелиты; 5 — измененные породы основания; 6 — реголиты; 7 — измененные реголиты; 8 — измененные отложения формации Атабаска; 9 — разломы.

[Образование месторождений урана, 1976; Ayres D. E., Eadington P. J., 1975], сходным путем, когда уран из вмещающих пород выносился растворами и концентрировался в структурных ловушках вблизи крупных несогласий (рис. 7). Рассмотрим геологические особенности этой группы месторождений на примере месторождения Ки-Лайк.

Месторождение Ки-Лайк приурочено к окраине кристаллического щита и располагается в краевой части депрессии, выполненной песчаниками формации Атабаска, перекрывающими нижнепротерозойские образования складчатой зоны Волластон-Лайк. Участок месторождения имеет двухъярусное строение. В основании лежат интенсивно гранитизированные породы, которые перекрываются песчаниками и конгломератами серии Атабаска. Породы в пределах складчатой зоны Волластон-Лайк образуют синклиналию структуру, которая разбита рядом разломов северо-восточного простирания, совпадающих с направлением сланцеватости в метаморфизованных осадках. Как правило, это сбросы с амплитудой смещения до 40 м.

Стратиграфический разрез следующий: в основании лежат архейские граниты, выше — мощностью в несколько сотен метров — нижнепротерозойские породы: пелиты, сланцы, гнейсы (с хлоритом, серицитом, графитом) и метаморфизованные аркозы и пегматоиды, которые превращены в реголиты. Вдоль эрозионной поверхности они с резким угловым несогласием и перерывом перекрываются неметаморфизованными аллювиальными песчаниками и конгломератами формации Атабаска среднепротерозойского возраста, мощность которых 0—60 м. Завершается разрез

плейстоценовыми ледниковыми отложениями мощностью от 30 до 80 м. Отложения протерозойского возраста прорываются немногочисленными дайками диабазов.

Архейские граниты и гнейсы, залегающие в основании разреза, состоят преимущественно из кварца, калиевого полевого шпата и биотита. Для них характерно низкое содержание биотита и отсутствие таких типичных для метаморфических пород минералов, как гранат, кордиерит и амфиболы.

Нижепротерозойские отложения — графит-хлорит-серицитовые и графитовые сланцы, биотит-плаггиоклаз-кордиеритовые гнейсы, анатектические гнейсы и пегматиты. Графит-хлорит-серицитовые сланцы состоят главным образом из кварца, мусковита и скопелин хлорита и серицита. Содержание графита возрастает с глубиной. Графитовые сланцы состоят из серицита, хлорита, графита (содержание графита 25—40 %). Содержание кварца уменьшается от верхней части разреза к нижней. Серицит и хлорит возникли, вероятно, за счет преобразования полевых шпатов. Вблизи основания, где преобладает графит, заметно возрастает содержание галенита. Биотит-плаггиоклаз-кордиеритовые гнейсы развиты наиболее широко. Они состоят из биотита, плаггиоклаза, кварца и кордиерита и образующих тонкие прослои хлорита, роговой обманки и пироксена. В верхней части разреза первичные минералы повсеместно сильно изменены. Зона изменения прослеживается на 60 м и более ниже несогласия. Интенсивность изменения постепенно уменьшается с глубиной. Анатектические гнейсы и пегматиты обладают крупнокристаллической структурой и обычно определяются как пегматиты, однако присутствие в них кордиерита и граната указывает на их метаморфическое происхождение в условиях верхней части амфиболитовой фации.

В основании формации Атабаска лежат конгломераты с кварцевой галькой до 5 см в диаметре, изредка встречается галька реголитов. В подошве конгломератов возрастает содержание хлорита и серицита и уменьшается количество обломков кварца. Переходная зона представлена переработанными реголитами, чередующимися с песчаниками. Песчаники формации Атабаска состоят преимущественно из светлых зерен кварца, иногда с небольшим количеством в цементе каолинита, серицита, хлорита. Аксессуарные минералы представлены апатитами, турмалином, цирконом. По составу эти породы ближе к кварцитам, чем к песчаникам.

Ведущими рудоконтролирующими факторами являются:

1) поверхность несогласия между среднепротерозойскими отложениями серии Атабаска и метаморфизованными осадочными отложениями раннепротерозойского возраста складчатой зоны Волластон-Лайк. Большая часть руды расположена вдоль центра складчатой зоны в сильнобрекчированных и милонитизированных породах (рис. 8). Зона брекчий состоит из обломков осадочных пород серии Атабаска и пород основания, которые подверглись каолинизации, хлоритизации и серицитизации. Уран-никелевые минералы обычно заполняют открытые трещины и поверхности,

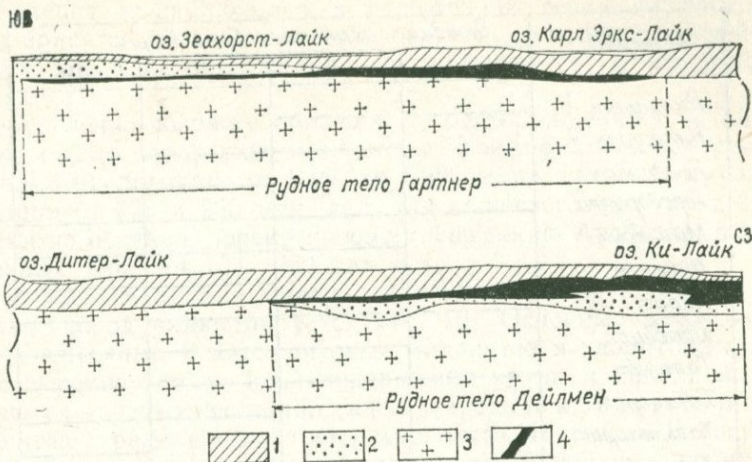


Рис. 8. Генерализованный продольный геологический разрез месторождения Ки-Лайк [Dahlkamp F. J., 1978].

1 — ледниковые отложения; 2 — песчаники формации Атабаска; 3 — породы фундамента; 4 — рудные тела.

но иногда могут образовывать и массивные руды замещения, в которых встречаются лишь реликтовые остатки вмещающих пород;

2) распределение минерализации выражается в приуроченности уран-никелевых руд к узким струям (shears) ниже главной зоны брекчий; такие относительно тонкие струи прослеживаются на 150 м ниже палеоповерхности в рудном теле Дейлмен;

3) приуроченность минерализации к разломам и трещинкам в породах, перекрывающих формацию Атабаска.

Месторождение состоит из двух рудных тел: Гартнер на юго-западе и Дейлмен на северо-востоке. Они приурочены к зоне разлома северо-восточного простирания, имеющей северо-западное падение под углом 50—70°. Зона разлома по аэрогеофизическим данным прослеживается на 6000 м от оз. Ки до оз. Циммер.

Рудное тело Гартнер, прослеживающееся по простиранию на 1400 м, может быть разделено на две части. Северная, длиной по простиранию 800 и шириной 50 м, имеет среднюю мощность около 10 м. Рудное тело располагается на интервале 50—80 м ниже поверхности несогласия; в верхней части его, мощностью 0,3 м, содержится 45 % U_3O_8 и Ni. Южная часть длиной 600 при средней ширине 15 и мощностью 4 м содержит относительно бедную минерализацию.

Рудное тело Дейлмен прослежено по простиранию на 1400 м при ширине от 10 до 200 м и более. Оно расположено на глубине от 65 до 140 м ниже поверхности. Наиболее богатые руды, содержащие 59 % U_3O_8 и около 30 % никеля, сосредоточены в верхней части залежи мощностью около 0,3 м.

Минерал	Стадии минералообразования			
	I	II	III	IV
Настуран I		---		
Настуран II				
Коффинит				---
Герсдорфит				
Миллерит				
Никелин				
Пирит	---			
Бравойт				
Галенит				
Сфалерит				
Халькопирит				
Хлорит	---	---	---	
Кварц			---	---
Сидерит				
Кальцит				

Рис. 9. Генерализованные парагенезисы месторождения Ки-Лайк [Dahlkamp F. J., 1978].

Эти два рудных тела, вероятно, являлись одним более крупным, длиною около 3,5 км, которое в средней части было эродировано ледником, так что осталась лишь меньшая часть оруденения. Об этом свидетельствуют минерализованные обломки, встречающиеся среди ледниковых отложений, перекрывающих рудное тело Гартнер.

Главными рудными элементами являются уран и никель. Никель встречается как в форме сульфидов, так и сульфоарсенидов; уран — в форме кислородных и силикатных минералов. Как акцессорные минералы содержатся соединения свинца, цинка и меди. В очень небольшом количестве (до 0,2 %) встречается молибден, но минеральных форм его не выявлено. Исследователями установлено две разновидности настурана, одна из которых называется сажистым настураном. Нередко встречается коффинит, образующий каемочки вокруг зерен настурана. Однако коффинит встречается главным образом с сажистым настураном, обычно псевдоморфно замещая его, и может рассматриваться как вторичный по сажистому настурану. Из никелевых минералов преобладает герсдорфит, кристаллы которого расположены в матрице, представленной сажистым настураном и коффинитом. Кристаллы миллерита и никелина, в том числе и радиальной формы, встречаются реже; бравоит хотя и встречается в рудах, но промышленного значения не имеет (рис. 9). Оруденение сопровождается каолинитом, хлоритом, сидеритом, кварцем, кальцитом, сфеном и реже эпидо-

том. Галенит не наблюдался в отложениях серии Атабаска, но всегда присутствует в минерализованных нижнепротерозойских породах, при этом содержание его повышается в графитовых сланцах.

Определение возраста образцов из месторождения Ки-Лайк по изотопам дало следующие результаты: формирование настурана I генерации происходило от 1,160 до 1,228 млрд. лет, а настурана II генерации от 370 и 960 млн. лет; для сажистого настурана II генерации из осадков, перекрывающих формацию Атабаска, возраст отдельных образцов 107—250 млн. лет.

Взаимосвязь рудных минералов, их количества и состава вмещающих пород иллюстрируется рис. 10. Основные закономерности — следующие. В каолинитовых милонитах и хлоритовых милонитах высокие (более 1 %) содержания урана и никеля концентрируются преимущественно вдоль трещинок в каолинитовых милонитах и реже в хлоритовых милонитах. Настуран I генерации и никелин приурочены к этим отложениям. В меньшем количестве присутствуют сажистый настуран, коффинит, герсдорфит, миллерит, бравоит и как акцессории галенит, сфалерит и пирит. Минерализация встречается преимущественно в виде мелких прожилков, пронизывающих породу.

В хлорит-серицит-кварцевых сланцах миллерит присутствует главным образом в виде игольчатых кристаллов и частично в сростаниях с герсдорфитом; реже он заполняет трещины. Рудные тела Гартнер и Дейлмен располагаются в графитовых сланцах, однако в теле Дейлмен часть руды находится в более древних породах. В кварцитах вблизи зон дробления отмечается очень незначительная минерализация. Песчаники и конгломераты серии Атабаска минерализованы только вблизи зон трещиноватости и разломов. Для них характерно развитие сажистого настурана, герсдорфита и миллерита.

В строении рудных тел наблюдается вертикальная зональность. В нижней части локализуются арсениды никеля, никелин, в верхней преобладают сульфиды, главным образом миллерит. Зональность наблюдается и в распределении настурана. В осадочных отложениях серии Атабаска мы видим сажистый настуран, коффинит, герсдорфит и миллерит (отсутствует настуран I генерации и никелин).

Изучение нижнепротерозойских метаосадочных пород как потенциального источника руд урана и никеля показало, что апатитоносные роговообманковые пироксениты, биотит-полевошпат-кордиеритовые сланцы и породы другого состава содержат местами до 0,1 % урана. Уран концентрируется в биотите, роговой обманке и апатите. Высокое содержание никеля иногда наблюдается в свежих кристаллических породах раннепротерозойского возраста. Главные типы метаосадочных нижнепротерозойских пород содержат урана в среднем 50 г/т, а также большое количество никеля.

Формирование месторождения, по данным Ф. И. Далькампа [Dahlkamp E. J., 1978], происходило следующим образом. В ранне-

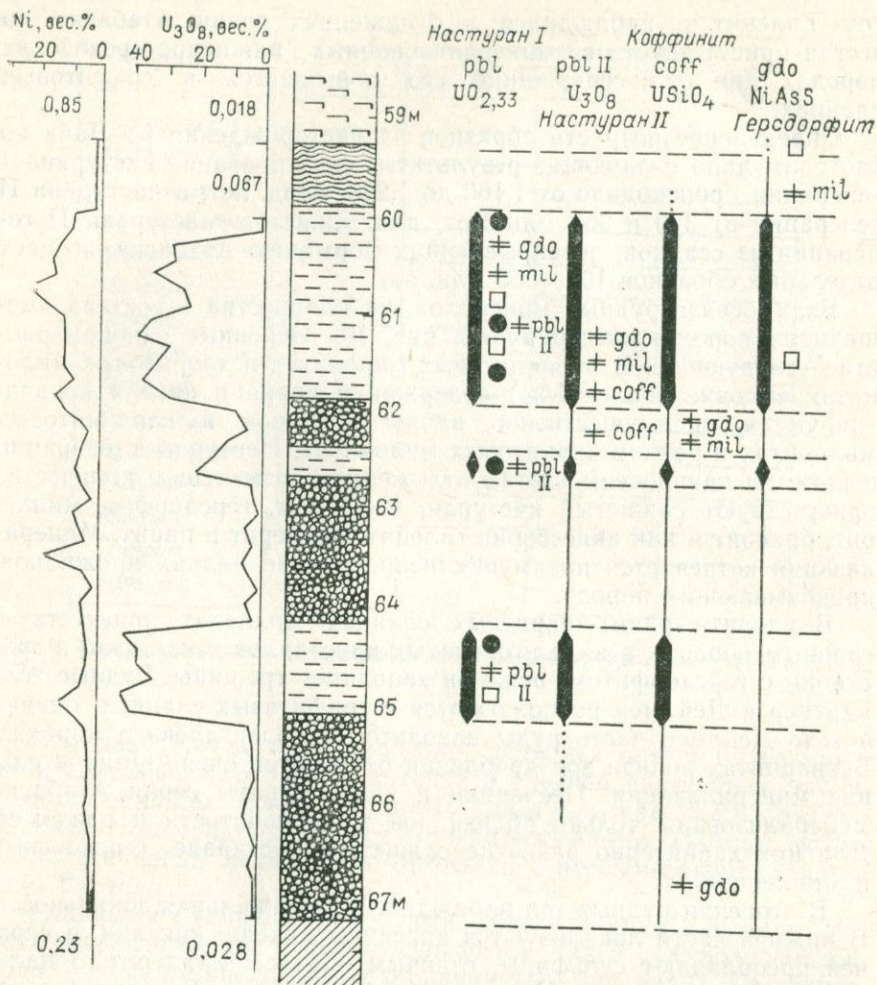
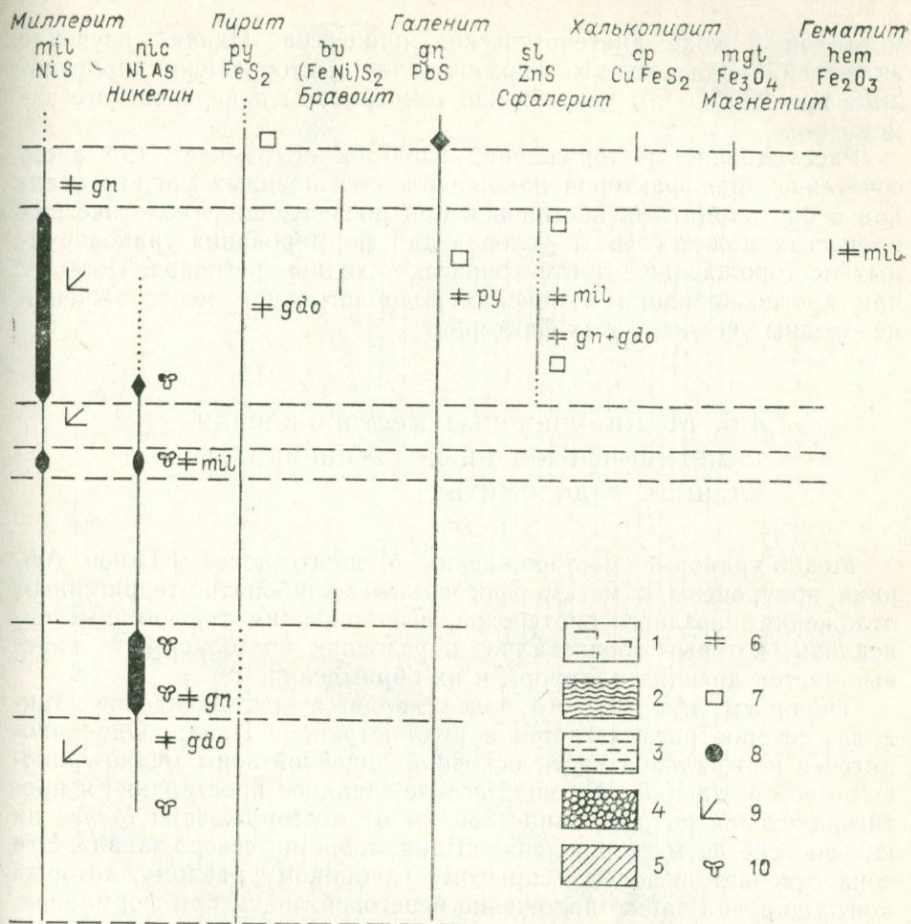


Рис. 10. Вертикальное распределение, габитус и взаимосвязь рудных минералов

1 — графитовые сланцы; 2 — хлорит-серпичитовые сланцы, милониты; 3 — железисто-хлорито-милониты; 6 — сростания кристаллов; 7 — идиоморфные кристаллы; 8 — радиальные кри

и среднепротерозойское время в лагунные бассейны, располагавшиеся вокруг архейских платообразных поднятий и между ними, происходил с этих поднятий вынос урана. Во время гудзонской орогении (около 1800 млн. лет) создались условия для дальнейшей концентрации урана и формирования стратифицированных линзообразных тел. В среднепротерозойское время площадь севернее оз. Атабаска с жильными месторождениями гудзонского (ранне-среднепротерозойского) возраста частично была перекрыта осадочными породами свиты Мартин. Однако на части этой площади, в районе Ки-Лайк, осадков не было и интенсивное выветривание



в рудном теле Гартнер [Dahlkamp F. J., 1978].

вые сланцы, милониты; 4 — кварциты; 5 — серицитовые каолиниты, магнетит-хлоритовые сталлы; 9 — столбчатые кристаллы; 10 — коллоидальные образования.

гудзонских осадков и пород архейских куполов способствовало мобилизации и переотложению урана и других элементов. Мобилизованные элементы переносились в тектонические трещины, где и отлагались, восстанавливаясь, так же как и железистые минералы, в зонах хлоритизации и других изменений при колебаниях рН и Eh среды. Несогласие является еще одним фактором, определяющим локализацию оруденения.

Следующим этапом в формировании является накопление пород серии Атабаска мощностью в несколько тысяч метров, создавшее условия для мобилизации и переотложения урана и других

металлов в ходе диагенетических процессов. Однако изучение включений показало, что формирование месторождения происходило при 200 °С, что много выше температуры поверхностного замещения.

Рассмотрение месторождения Ки-Лайк показывает, что лишь сочетание ряда факторов накопления обогащенных ураном осадков и благоприятных обстановок при последующих геологических процессах может создать условия для формирования урановородных месторождений в геотектонически сходных регионах. Поэтому при прогнозировании и поисках подобного типа месторождений необходим учет всех этих факторов.

4.6. Медно-урановые месторождения в метаморфизованных песчаниках, сланцах и доломитах

Медно-урановые месторождения Медного пояса Южной Африки приурочены к метаморфизованным карбонатно-терригенным отложениям позднего протерозоя, выполняющим тафrogenные синеклизы, которые образовались в условиях протоорогенеза краевых частей древних платформ и их обрамления.

Типичным для Медного пояса является месторождение Миндола, которое располагается в рудном районе Нкана. Оно находится в центральной части основной линейной зоны медно-урановых месторождений, имеющей северо-западное простирание и протягивающейся на расстояние 350 км от месторождения Мтуга на юго-востоке до месторождения Шинколобве на северо-западе. Эта зона отвечает, вероятно, скрытому глубинному разлому, который контролировал также положение береговой линии при формировании рудоносных катангских отложений. Непосредственно месторождение Миндола расположено в северо-восточном крыле сравнительно крупной синклиной структуры Нкана-Чибулума, выполненной отложениями системы Катанга и имеющей размеры порядка 45 × 20 км (рис. 11).

Рудовмещающие отложения синклинория налегают на глубоко метаморфизованные образования серий Луфубу и Мува, которые представлены в районе Миндола мусковитовыми сланцами и кварцитами, гнейсами, метаконгломератами, метаграувакками и мраморами, прорванными микроклин-олигоклаз-биотитовыми, нередко гнейсовидными гранитами. Учитывая отмечающуюся в целом для медно-уранового пояса приуроченность меденосных участков к наиболее глубоким участкам депрессий предкатангского рельефа, а ураноносных — к менее глубинным участкам, следует отметить, что район Миндола примыкает как раз к ядерной части гранито-гнейсового купола с развитием отмеченных выше гранитов.

В основании рудной серии системы Катанга залегает группа Нижний Роан, представленная базальными конгломератами, квар-

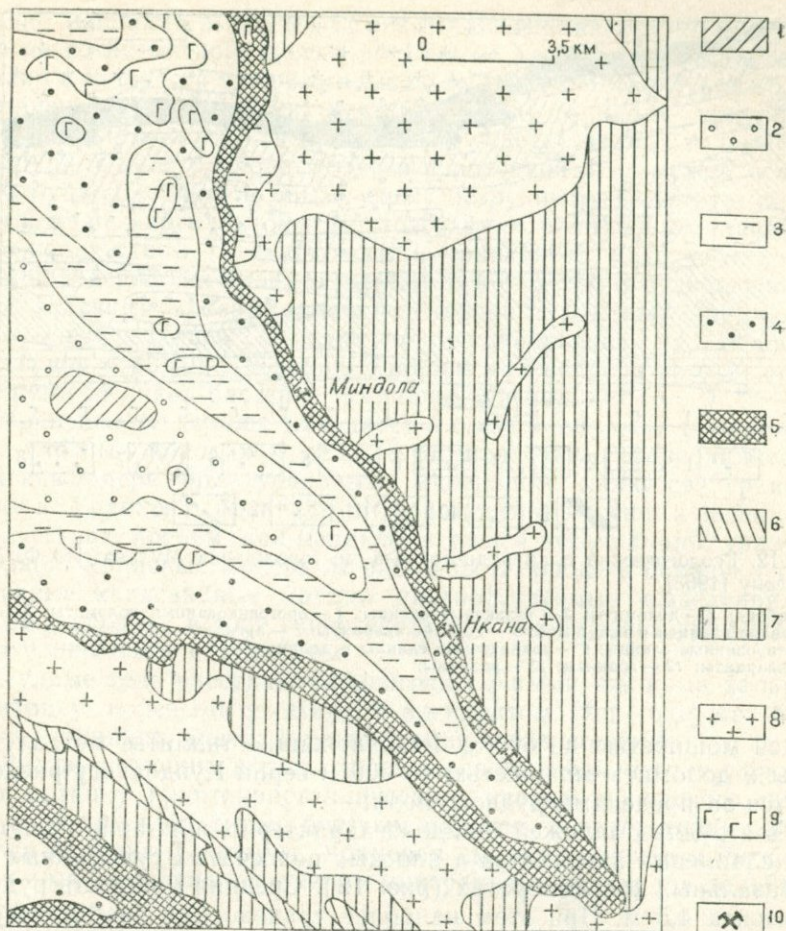


Рис. 11. Геологическая карта района месторождений Нкана-Миндола. По Ф. Мендельсону [1963].

1 — сланцы (нижний и средний Кунделунгу); 2 — доломиты и тиллиты (Коконтве); 3 — карбонатные сланцы, аргиллиты (Мвашиа); 4 — песчанистые и доломитсодержащие тальковые сланцы, кварциты, силлы габбро (верхний Роан); 5 — кварциты, аргиллиты, «рудные» сланцы и доломиты, аркозы, конгломераты (нижний Роан); 6 — кристаллические сланцы, кварциты (Мува); 7 — мусковитовые гнейсы, сланцы, мраморы (Луфубу); 8 — гнейсовидные граниты; 9 — габбро; 10 — урановые рудники.

цитами, аркозами и аргиллитами, рудными сланцами, доломитами, верхними кварцитами и аргиллитами мощностью в районе Миндола около 220 м. Выше согласно залегает группа Верхний Роан, сложенная перемежающимися сланцами и кварцитами, тонкокристиаллическими доломитами, иногда оталькованными, и силлами габбро общей мощностью до 380 м. Завершается верхняя часть рудной серии группой Мвашиа, также залегающей согласно. Она представлена метааргиллитами и известняковыми алевролитами

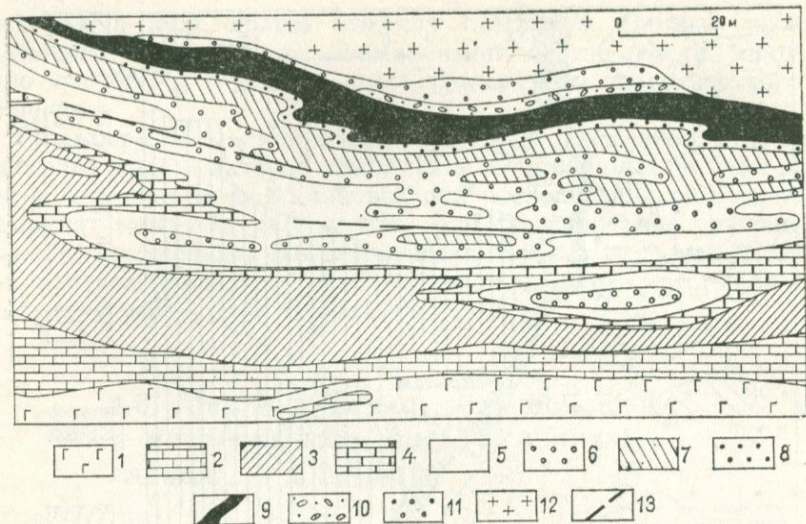


Рис. 12. Геологический план рудного тела месторождения Мулана. По Ф. Мендельсону [1963].

1 — габбро; 2 — доломиты; 3 — тальковые сланцы; 4 — ороговикованные доломиты; 5 — переслаивание сланцев и кварцитов; 6 — верхние кварциты; 7 — аргиллиты и песчаники; 8 — сульфидизированные сланцы; 9 — ураноносные сланцы и доломиты; 10 — конгломераты; 11 — нижние кварциты; 12 — граниты; 13 — разломы.

общей мощностью до 600 м. Вышележащие тиллиты, метаалевролиты и доломиты мощностью до 900 м серии Кунделунгу располагаются за пределами рудного поля.

Для рудных залежей Миндола характерно залегание ураноносных сланцевых аргиллитов и плотных полосчатых сульфидных руд на базальных конгломератах (рис. 12). Средняя мощность рудного горизонта 4,5 м. При этом наиболее ураноносные участки характеризуются понижением мощности почти наполовину. Отложения, прослеженные на глубине более 400 м, смяты в сложные повторяющиеся гармонические складки с общим падением на юго-запад под углом 25° . В отдельных случаях углы падения достигают 60° . На фоне складок низкого порядка наблюдаются складки более высоких порядков и складки волочения. Отложения разбиты крутопадающими сбросо-взбросами с амплитудой перемещения до 10—25 м. Часть зон дробления имеет послойный характер. В нижней части рудоносной пачки наблюдаются субсогласные тектонические брекчии, обломки в которых представлены рудными сланцами, кварцитами и алевролитами.

Метаморфизм рудовмещающих пород отвечает фации зеленых сланцев и лишь иногда достигает эпидот-амфиболитовой фации. В отложениях устанавливаются косая слоистость, долитификационные оползны и другие признаки, указывающие на формирование рудной пачки в мелководном бассейне эпиконтинентального типа.

Рудные тела, согласные с вмещающими породами, имеют

обычно мощность в первые метры и прослеживаются по простира-нию на сотни метров, иногда до 1200 м. Характерны широкие вариации в мощности, сопряженные со складчатой структурой толщи. Урановое оруденение на месторождении Миндола приурочено к непродуктивному в отношении меди участку рудной толщи. Урановорудные тела располагаются в переходной зоне между основным рудной серии и первыми снизу безрудными доломитами. При переходе метааргиллитов в метапесчаники, местами со значительным количеством галечникового и гравийного материала, повышается содержание урана и понижается — меди. В отдельных случаях галечные аркозы замещают горизонт плотных кремнистых рудоносных сланцев. Существует предположение, что подобные изменения отражают позицию ураноносных осадков по отношению к береговой линии бассейна осадконакопления.

Урановые минералы находятся главным образом в окремнен-ных плотных породах и реже в их полосчатых разновидностях. Основным первичным урановым минералом является урановая смолка. Уранинит, браннерит и коффинит отмечены в небольших количествах, причем, как правило, в тесной ассоциации с урановой смолкой. Урановые минералы рассеяны в породе и образуют своеобразные каплевидные трудно диагностируемые выделения. На верхних уровнях в зоне гипергенеза они замещаются уранофаном, бета-уранотилом и гуммитом.

Рудные тела рассекаются многочисленными жилками кальцита с кварцем, полевыми шпатами и ангидритом. Они содержат браннерит, уранинит, анатаз и реже борнит и халькопирит.

Рудовмещающие породы представляют собой негранулированную мозаику криптокристаллического кварца и полевого шпата с мусковитом и биотитом, богатым магнием. В интерстициях встречается кальцит и доломит. Урановая смолка рассеяна в интерстициях с максимальным размером минеральных индивидов до 0,01 мм в диаметре.

Радиологические определения возраста уранового оруденения уран-свинцовым методом по смолке из жил дают цифры в интервале 630—520 млн. лет, а определения по изотопам свинца — 630 млн. лет. Эти определения близки к возрасту толщ, определяемому по геологическим данным, в том числе по находкам строматолитов и других органических остатков, как поздний протерозой.

Основные закономерности распределения уранового оруденения в районе выражаются в:

— четкой стратиграфической и литологической приуроченности оруденения к нижней части терригенных эпиконтинентальных отложений;

— тяготении рудоносных участков к участкам поднятия фундамента, в частности сложенным гранитами;

— уменьшении мощности стратиграфического горизонта в участках, обогащенных ураном, с одновременным развитием более грубообломочных пород;

— проявлении в пределах рудоносных горизонтов субсогласных зон трещиноватости и кливажа с развитием прожилков, содержащих урановые минералы такого же состава, как и послонные тела;

— расположении месторождений урана в пределах зоны скрытого разлома в фундаменте, существовавшего в период осадко-накопления и определившего расположение береговой линии;

— позднепротерозойском возрасте оруденения, близком ко времени формирования рудовмещающих толщ (следует подчеркнуть длительность геологической истории района, содержащей целый ряд этапов, существенных для формирования и преобразования уранового оруденения).

Древние метаморфические комплексы, в том числе гранитоидные, подвергались в период накопления рудовмещающей толщи интенсивной эрозии, сопровождающейся формированием неровной поверхности, к возвышенностям которой были приурочены выходы гранитов, и переводом значительного количества урана в подвижное состояние. Пониженные участки вначале были заполнены речными и частью прибрежными отложениями. Последующая трансгрессия моря привела к образованию рудной толщи тонкоперемежающихся осадков различного состава. По завершении цикла седиментогенеза начались орогенез района, внедрение габброидных интрузий и складкообразование.

Первичное накопление металлов (меди, кобальта, урана) в катангских отложениях связано с привнесом их водными потоками в виде не литифицированные осадки. Выпадение металлов происходило зонально в зависимости от характера взвешенности приносимого материала, кислотности-щелочности среды, количества сероводорода в застойных водах. В общем виде зональность от береговой линии в сторону моря следующая: безрудная зона, зоны с ураном, медью, кобальтом, железом. Иногда уран с молибденом накапливался вблизи меденосных зон в красновато-коричневых илах мелководных фаций в небольшой по мощности зоне застойных вод ниже насыщения их кислородом. При диагенезе и метаморфизме происходило изменение форм нахождения металлов с их частичным переотложением в виде жил и прожилков. Халькозин, борнит, халькопирит и уранинит образовались при более поздних процессах преобразования.

Литогеохимический контроль оруденения определяется приуроченностью урановых и медно-урановых месторождений преимущественно к карбонатно-терригенным отложениям. Сведений о роли магматического фактора в формировании уранового оруденения Катанги нет, хотя известно, что выходы гранитов совпадают с границей рудных полей месторождений.

Катанга относится к числу комплексных провинций, где уран тесно пространственно связан с медью, кобальтом, никелем и железом. Эта ассоциация отражает общность образования, которое происходило, по имеющимся данным, в пределах прибрежных дельт, куда ручьями в растворе приносились медь, никель кобальт и железо. Наиболее распространенным является медное орудене-

ние, реже встречается кобальтовое и еще реже никелевое; последнее объясняется малым количеством кобальта и особенно никеля в области сноса. Уран, как и железо, встречается по разрезу достаточно широко. Выпадение металлов в осадок связывается с анаэробными бактериями, разлагающими растительные и животные остатки с образованием сероводорода.

На генезис урановых и медно-урановых месторождений ряд исследователей придерживаются взглядов о первично-осадочном накоплении урана в осадках, по типу мансфельдских ураносодержащих сланцев, с последующим преобразованием руды в процессе диагенеза, другие отстаивают представления о гидротермальном генезисе месторождений.

4.7. Урановые месторождения в калиевых метасоматитах по метаморфическим, ультраметаморфическим и щелочным магматическим породам в областях тектоно-магматической активизации щитов

Месторождения этого типа расположены в области мезозойской активизации одного из районов развития докембрия. Район сложен раннедокембрийскими метаморфическими породами, частично перекрытыми маломощным чехлом карбонатных отложений позднего протерозоя—кембрия и песчано-глинистыми осадками юрского возраста. Для района характерно широкое проявление многофазного магматизма эпохи мезозойской активизации, приведшей к формированию сложных вулканоплутонических построек щелочноземельных, субщелочных и щелочных пород калиевого ряда. В рудном районе щелочные породы этого комплекса характеризуются повышенным в 1,5—2,0 раза по сравнению с региональными кларками содержаниями урана и тория.

Урановые месторождения приурочены к древним купольно-блоковым структурам, в пределах которых проявлены мезозойский магматизм и блоковые перемещения. Одна из этих структур представлена ступенчатым горстом, образовавшимся в мезозое в интенсивно гранитизированных породах докембрия (рис. 13), другая соответствует крупному массиву щелочных вулканогенно-интрузивных пород, приуроченному к узлу пересечения региональных разломов и имеющему сложное блоковое строение (рис. 14). Вмещающими урановое оруденение породами в первом случае являются гнейсы и кристаллические сланцы архея, гранитизированные в раннем протерозое (2,2—1,9 млрд. лет), а во втором — мезозойские щелочные вулканогенно-интрузивные породы (160—110 млн. лет). Возраст месторождений урана определяется как раннемеловой на основании наложения уранового оруденения на щелочные

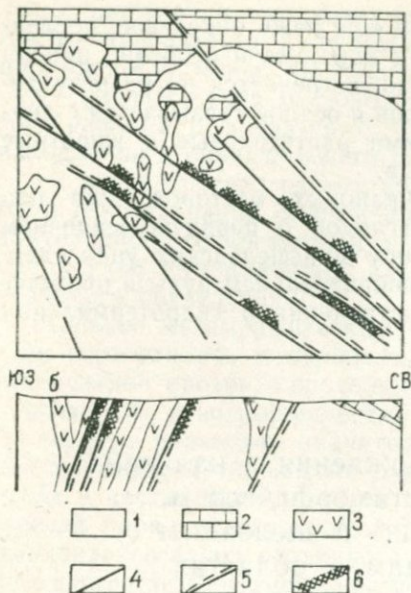


Рис. 13. Размещение основных рудосных структур района мезозойской тектоно-магматической активизации докембрия в плане (а) и разрезе (б). По В. А. Крупеникову [1968].

1 — гнейсы, кристаллические сланцы, мигматиты и граниты (AR—PR); 2 — карбонатные отложения платформенного чехла (≡); 3 — субщелочные и щелочные вулканогенно-интрузивные породы эпохи мезозойской активизации; 4 — раннепротерозойские разломы; 5 — то же, омоложенные в мезозое, с урановой минерализацией; 6 — участки промышленного оруденения.

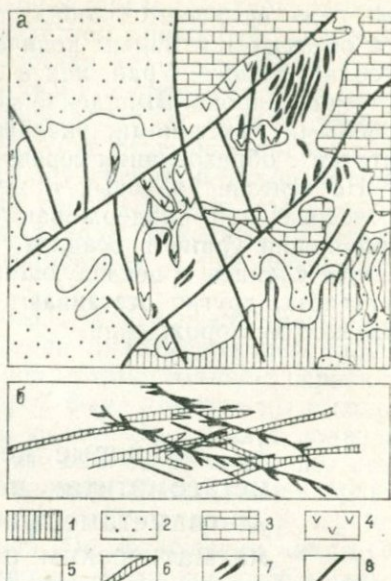


Рис. 14. План размещения (а) и морфология ураносных зон в массиве щелочных пород. По Т. В. Билибиной, В. И. Донакону, В. К. Титову [1963].

1 — метаморфические толщи кристаллического основания (AR—PR); 2—3 — отложения платформенного осадочного чехла (PR₃—≡); 2 — песчано-глинистые, 3 — карбонатные; 4—6 — вулканогенно-интрузивный комплекс (MZ): 4 — эффузивно-пирокластические щелочные породы, 5 — щелочные и нефелиновые сyenиты, 6 — тингуанты; 7 — ураносные зоны и рудные тела; 8 — разрывные нарушения.

породы позднемезозойской эпохи активизации и радиологических датировок руд в 145 ± 20 млн. лет*.

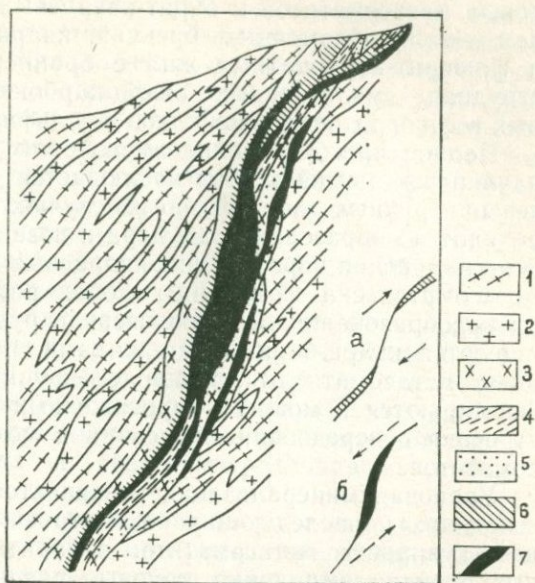
Общими признаками, позволяющими отнести эти месторождения к одной формации, являются: пространственная и парагенетическая связь уранового оруденения с мезозойским вулканогенно-интрузивным комплексом щелочных пород; сходство морфологии рудных тел и типов рудовмещающих структур; близость стадийности рудоотложения и типов окolorудных изменений; однотипность структур и текстур руд, включая и реликтовые.

Урановые месторождения располагаются в тектонических разрывах, возникших в период формирования горстов и наследующих план строения древних межблоковых и внутриблоковых разломов различных порядков. Тип проявления рудовмещающих разломов

* В основу данного очерка положены материалы В. А. Крупеникова и др. [1968], М. Ф. Стрелкина и др., [1967], и др.

Рис. 15. Геологическое строение браннеритового месторождения. Положение рудного тела в разломе. Разрез по В. А. Крупенникову и др. [1968].

1 — кристаллические сланцы и гнейсы; 2 — граниты; 3 — кварц-полевошпатовые породы; 4 — бластомилониты; 5 — пирит-карбонат-калишпатовые метасоматиты; 6 — барит-кварцевые жилы; 7 — рудные тела; а — направленные смещения по разломам в момент формирования барит-кварцевых жил; б — то же, в период формирования урановых руд.



зависит от вмещающей среды. В докембрийских метаморфических породах рудоконтролирующими являются древние протяженные зоны бластомилонитов и бластокатаклизитов, усложненные зонами дробления, сбросовыми и сбросо-сдвиговыми трещинами в мезозое. Разломы, как правило, субсогласны с простиранием вмещающих гнейсов, но имеют более крутое падение; их протяженность от 1—3 км до нескольких десятков километров. В мезозойских щелочных породах урановое оруденение размещается в трещинах более высоких порядков сравнительно небольшой протяженности (менее 2—5 км), оперяющих крупные древние активизированные швы.

Интенсивность процесса гидротермального рудообразования во многом зависит от степени и многоактности брекчирования тектонитов и вмещающих их пород. Наиболее благоприятные структурные условия для рудоотложения создаются в местах изгибов рудовмещающих разломов, в местах расщепления или сопряжения разломов различной ориентировки (рис. 15). Литологический контроль оруденения определяется в основном физико-механическими свойствами вмещающих пород: их хрупкостью, проницаемостью, гетерогенностью строения и т. д.

По морфологическому типу рудные тела обоих подтипов месторождений имеют форму крутопадающих линзообразных, столбообразных залежей и жил. Параметры рудных тел и первичные ореолы месторождений в метаморфических толщах докембрия значительно больше, чем в мезозойских интрузиях.

На месторождении, локализованном среди докембрийских толщ, выделяется три стадии гидротермального процесса: дорудная — формирования низкотемпературных пирит-карбонат-адуля-

ровых метасоматитов и барит-кварцевых жил с сульфидами; рудная — мелкообломочных брекчий, кварцевых, кварц-карбонатных и флюорит-карбонатных жил с браннеритом и настураном; по-струдная — маломощных кварц-карбонатных, флюорит-карбонатных и флюоритовых прожилков с сульфидами.

Полное преобразование вмещающих пород в пирит-карбонат-адуляровые метасоматиты наблюдается далеко не в каждом пересечении рудных зон. Во многих случаях процесс метасоматоза не доходит до образования адуляра и возникают промежуточные степени изменения пород. Барит-кварцевые жилы локализуются среди метасоматически измененных пород вне зависимости от степени их преобразования. В свою очередь рудоносные брекчии контролируются кварц-баритовыми жилами и пирит-карбонат-адуляровыми метасоматитами. Наиболее крупные залежи урановых руд формируются в мощных протяженных разломах гетерогенного строения с чередованием древних и молодых тектонитов и метасоматитов.

Урановая минерализация развивается в цементе брекчий, распадающихся и наследующих план строения дорудных пирит-карбонат-адуляровых метасоматитов и барит-кварцевых жил. Рудоносные брекчии выполняют крупные разрывы и образуют сложные системы ветвящихся маломощных швов. Размер обломков в брекчиях от 3—7 см до сотых долей миллиметра. В соответствии с этим в рудах преобладают мелкобрекчиевая, брекчиевая и реже вкрапленная и прожилково-вкрапленная текстуры. Состав рудных брекчий, согласно М. Ф. Стрелкину с соавторами [1967], представлен следующей ассоциацией минералов (в порядке уменьшения распространения): кальцит, доломит, кварц, серицит, калишпат и рудные — флюорит, марказит, пирит, браннерит, рутил, гематит, блеклая руда, галенит, халькопирит, арсенопирит, ильменит и единичные зерна настурана. В этом месторождении браннерит является главным гипогенным урановым минералом, что, по-видимому, обусловлено повышенными содержаниями титана во вмещающих гнейсах и диоритоидах докембрия (0,5—1,5 %) и сравнительно легкой его извлекаемостью. Спутниками урана являются титан, вольфрам, ниобий, иттрий, иттербий, мышьяк, таллий, свинец, молибден и серебро.

Зона окисления на месторождении проникает на глубину 100—200 м, а по отдельным трещинам до 1000 м и более. Тип зоны окисления — лимонит-слюдковый. Урановые слюдки, представленные фосфатами, ванадатами, арсенатами и силикатами, ассоциируют с гидроокислами железа и редко с глинистыми минералами.

Формирование радиоактивной минерализации в массивах щелочных пород происходило в два этапа. На раннем — высоко-среднетемпературном — образуются ториеносные эгирин-кварц-полевошпатовые метасоматиты и жилы, щелочные пегматиты, кварцевые, кварц-флюоритовые и кварц-карбонатные жилы. Они чаще всего развиваются в тех участках эндо- и экзоконтактов массивов щелочных пород, где вмещающие породы представлены доломитами

и известняками. Рудные тела образуют жилы, линзы и гнезда небольших размеров. Радиоактивная минерализация представлена торитом, ферриторитом, гидроторитом и хиблитом. Сопутствующими минералами являются сульфиды железа, свинца, меди, магнетит, анатаз, циркон, рутил, апатит, сфен. Околорудные изменения выражаются в окварцевании, эгиринизации, флюоритизации, фельдшпатизации и образовании грейзеноподобных пород. Практического значения ториеносные образования не имеют, но их выявление может рассматриваться в качестве положительного поискового признака, указывающего на возможность обнаружения урановых объектов этой формации.

Образование урановой минерализации связано с последующим средне-низкотемпературным гидротермальным процессом, в развитии которого проявляются четыре стадии: среднетемпературные браннерит-кварцевая, уранинит-кварц-баритовая и кварц-барит-флюоритовая, средне-низкотемпературная уранинит-настурановая кварц-флюорит-сульфидная и низкотемпературная кварц-барит-флюорит-кальцитовая.

В рудоносных зонах месторождения на ряде участков наблюдается наложение разных стадий минерализации. В связи с этим в ряде ураноносных зон зафиксировано присутствие незначительных количеств тория, не образующего, однако, в урановых рудах собственных минеральных форм. Рудоносной является особенно широко проявленная третья стадия развития гидротермального процесса. В отличие от месторождения, локализующегося в породах докембрия, минеральный тип урановых руд здесь определяется как уранинит-настурановый; реже встречаются браннерит и коффинит. Генезис месторождений урана этой формации определяется исследователями как гидротермальный средне-низкотемпературный.

Родство щелочных интрузий и уранового оруденения определяется по пространственной сближенности, общности структурного контроля, возрастной близости, геохимическому сходству. Геохимическим выражением этой связи является направленный характер миграции химических элементов от щелочных пород к урановым рудам, которая определяется по ведущим геохимическим рядам элементов и минеральным ассоциациям, установленным от ранних магматических групп к поздним и далее прослеживаемым в составе гидротермальных образований. Образование ураноносных гидротермальных растворов связывается с вторичными магматическими очагами щелочных пород, располагающимися на глубине около 6—7 км.

Уран в гидротермальных рудообразующих растворах, по-видимому, имеет двойное происхождение. Часть его поступала в гидротермы из вторичных магматических очагов, где происходила интенсивная физико-химическая трансформация архейских пород. Об этом свидетельствуют петрологические наблюдения и изотопия свинцов щелочных пород и урановых руд. Вторая часть урана (и, по-видимому, большая часть титана) извлекалась из гранитизиро-

ванных толщ докембрия, отличающихся повышенной радиоактивностью, и поступала в рудообразующие растворы по мере продвижения их в область разгрузки.

По данным А. И. Тугаринова и Г. Б. Наумова [1969], термобарические исследования газовой-жидких включений в кварце и кальците показывают, что температура гидротермального рудообразования изменялась от 350 до 90 °С. Образование урановых минералов происходило при температуре 220—170 °С.

Состав гидротермальных растворов, судя по минеральным ассоциациям руд и составу газовой-жидких включений в кварце и кальците, определяется как углекислый с относительно высокой концентрацией анионов S^{2-} . Это может свидетельствовать о закрытом характере разломов под чехлом осадочных отложений, что совместно с однородностью рудовмещающей среды и разломов обуславливает большой вертикальный размах и выдержанность оруденения на глубину.

Приведенный материал свидетельствует, что к числу прямых признаков ураноносности рассматриваемых образований относятся: проявление браннеритовой и уранинит-настурановой минерализации мезозойского возраста; наличие зон привноса и первичных ореолов урана и элементов-спутников (таллий, мышьяк, вольфрам, свинец и др.) в зонах дробления и щелочных метасоматитах, связанных с мезозойской эпохой тектоно-магматической активизации.

Косвенными поисковыми признаками являются: интенсивное проявление многофазности магматизма мезозойской эпохи с широким развитием в его составе щелочных пород калиевого ряда с повышенными в 1,5—2,0 раза по отношению к региональным кларкам содержаниями урана и тория; широкое проявление ториеносных образований в районах мезозойского магматизма, которые обычно предшествуют формированию урановых руд. Как показывает мировая практика, рудоносные эпохи активизации в различных геоблоках на щитах древних платформ могут меняться от среднего—позднего протерозоя до кайнозоя включительно. В этой связи, естественно, будут наблюдаться существенные отличия в специфике формирования месторождений и их вещественном составе при сохранении, как правило, ведущей роли структурного контроля в локализации руд.

ГЛАВНЕЙШИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ГЕОСИНКЛИНАЛЬНО-СКЛАДЧАТЫХ ПОЯСАХ И ОБЛАСТЯХ ИХ АКТИВИЗАЦИИ

5.1. Урановые, фосфорно-урановые и молибден-урановые месторождения в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в срединных массивах и геосинклинальных прогибах

В составе этой формации выделяется ряд минеральных типов урановородных месторождений: настурановый, апатит-аршиновит-настурановый, молибденит-настурановый, апатит-коффинитовый и др. Месторождения приурочены к крупным глубинным разломам различных направлений, оперяющим региональные глубинные разломы в краевых и центральных частях интрагеосинклинальных прогибов, и разломам, ограничивающим и пересекающим срединный массив. Главнейшей структурой провинции является срединный массив, окруженный геосинклинально-складчатыми сооружениями. Месторождения приурочены к геотектоническому мегаблоку, сформировавшемуся на коре континентального типа. Этот мегаблок характеризуется неоднородной и интенсивной гранитизацией ранне-среднепалеозойских геосинклинально-складчатых сооружений, устойчивым и длительным воздыманием в неогее и глубокой эрозией его центральной части в позднепалеозойское и мезозойское время.

Для регионов, где встречаются месторождения этой формации, характерно: широкое проявление ортогональных, диагональных и дугообразных трансрегиональных и региональных глубинных разломов, разделяющих блоки с разной историей геологического развития; мощное развитие орогенных гранитоидов; широкое развитие осадочных и магматических формаций, обогащенных ураном (углеродисто-кремнистые отложения, биотитовые и лейкократовые граниты и т. д.); золото-урановая металлогеническая специализация и, по данным геофизических исследований, увеличенная по сравнению с сопредельными мегаблоками мощность земной коры, а также высокая неоднородность (и дифференцированность) гравитационного гамма-полей.

Для регионов характерна высокая тектоническая и магматическая активность позднеорогенной стадии развития.

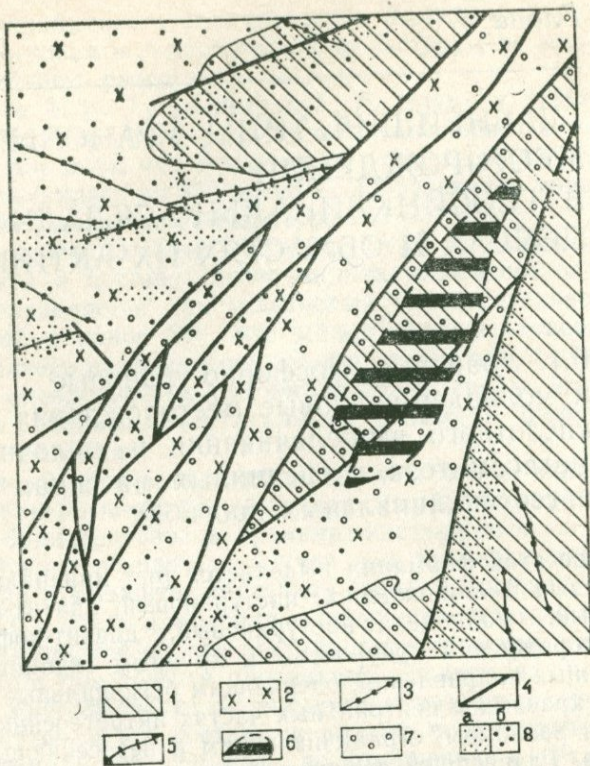


Рис. 16. Геологическое строение участка с золотым и уран-молибденовым оруденением. По Г. А. Лисицной и П. А. Раудонис [1968].

1 — эффузивно-осадочные образования; 2 — диориты; 3 — дайки диоритовых порфиров и спесартитов; 4 — тектонические нарушения; 5 — золото-кварц-сульфидные жилы; 6 — контур уран-молибденовой минерализации; 7 — кварц-альбитовое изменение; 8 — березитизация (а — сильная, б — слабая).

Геологические особенности месторождений этой формации нам представляется целесообразным рассмотреть на примере двух месторождений: молибденит-настуранового и апатит-аршиновит-настуранового минеральных типов.

Молибденит-настурановое месторождение располагается в краевой части интрагеосинклиналиного прогиба, выполненного андезитовыми порфиритами, их туфами, аргиллитами, алевролитами, песчаниками и известняками, прорванными крупными интрузивами кварцевых диоритов и тонолитов. Месторождение локализовано в зоне сопряжения главного разлома, имеющего простирание СВ 25—30°, и примыкающего к нему с запада разлома с простиранием СВ 45° (рис. 16). Столбообразное рудное тело имеет крутое северо-восточное падение. Вмещающие породы представлены толстой нижне-среднеордовикских вулканогенно-терригенных отложений (аргиллитов, алевролитов, песчаников и туфов)

грязно-зеленоватого цвета. Вдоль разломов к западу и югу от рудного тела вулканогенно-осадочные отложения прорываются интрузивом диоритов, несущих кварцевые жилы с золото-сульфидным оруденением. Интрузивы диоритов и вулканогенно-осадочные отложения прорываются дайками диоритовых порфиритов и спесаритов.

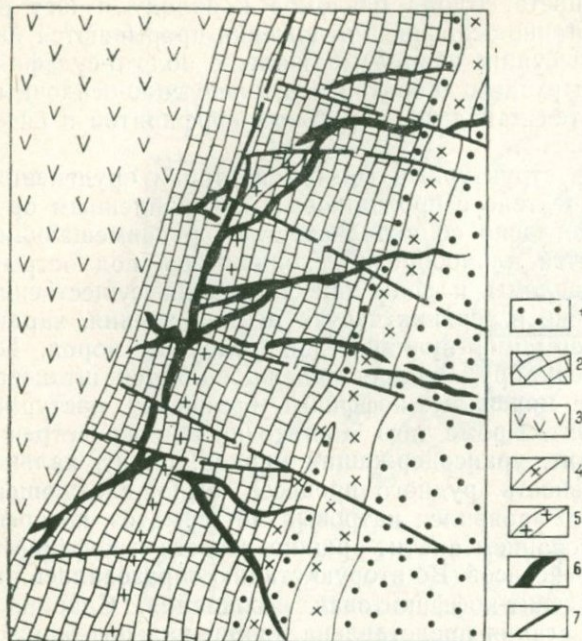
Ведущим является структурный фактор контроля оруденения. Столбообразное рудное тело с прожилковым и вкрапленным оруденением вытянуто согласно со складчатостью рудовмещающих пород и ограничивается клинообразно сходящимися под острым углом разломами. Разломы и зоны брекчирования существенно затушевывают, особенно в верхних частях месторождения, характер складчатых деформаций вулканогенно-осадочных пород. По характеру распределения руд рудная залежь является штокверком. Главные рудные минералы: коффинит, браннерит, настуран, молибденит и иордизит. Кроме того, достаточно широко встречаются апатит-аршиновит, урансодержащий циркон, пирит, халькопирит. Последовательность рудного процесса была следующей. В первый этап широко проявился натровый метасоматоз, который сопровождался образованием апатит-аршиновитового и коффинит-браннеритового парагенезисов. Во вторую стадию образовались пирит-аршиновит-молибденит-коффинитовая ассоциация. Слабопроявленная пострудная стадия представлена хлорит-кальцит-баритовой минерализацией.

Гидротермальные процессы, приведшие к формированию месторождения, обусловили широкое проявление предрудных, рудных и пострудных околорудных изменений. Предрудная стадия характеризуется кварц-альбитовым изменением вмещающих пород, в ходе которого происходит метасоматическое замещение породообразующих минералов кварц-альбит-гематит-карбонат-хлоритовой ассоциацией. Рудная стадия подразделяется на две подстадии: в первую образуются прожилки и вкрапленность альбита, апатита, циркона, кварца, анкерита, хлорита и гематита, а во вторую — настуран и молибденит с хлоритом и иногда с пиритом. В пострудную стадию формируются прожилки кальцита с хлоритом и иногда пиритом. Вторичные урановые минералы встречаются вдоль трещин до глубины в первые сотни метров.

Месторождение апатит-аршиновит-настуранового минерального типа приурочено к интрагеосинклинальному прогибу, выполненному терригенно-осадочными и вулканогенными породами, и, так же как ранее рассмотренное месторождение, размещается в разрывных нарушениях (рис. 17), оперяющих глубинный разлом. Месторождение локализуется в крыле синклинали, в узле пересечения субмеридионального и северо-восточного разломов. В пределах месторождения нижняя часть разреза сложена порфиритами, их туфами и туфопесчаниками. Выше лежит свита карбонатно-терригенных отложений.

Интрузивные образования представлены дайками диоритовых порфиритов и плагиогранит-порфиров, ориентированными обычно

Рис. 17. Геологическая карта фосфорно-уранового месторождения. По В. В. Белову [1968].



1 — аргиллиты, алевролиты, песчаники; 2 — афанитовые и глинистые известняки с прослоями туфов, песчаников; 3 — андезитовые порфириты, их туфы и туфобрекчии с прослоями туфопесчаников и песчаников; 4 — дайки диоритовых порфиритов; 5 — дайки гранитпорфиритов; 6 — рудные тела; 7 — разрывные нарушения.

в близмеридиональном направлении, согласно с простиранием вмещающих пород.

Ведущее значение в контроле оруденения имеют разрывные нарушения близмеридионального простирания. Они представлены крутопадающими межформационными и пластовыми срываами, сопровождающимися глинами трения, рассланцеванием, дроблением и лимонитизацией. Главный рудный разлом является сбрососдвигом, сопровождающимся зоной трещиноватости и брекчирования и глиной трения мощностью до 30—40 см. К главному разлому причленяются меньшие по масштабу нарушения северо-западного и близширотного простирания, в которых локализованы небольшие рудные тела, секущие вмещающие породы вкрест простирания (рис. 18). Главное рудное тело на месторождении имеет линзообразную форму и залегает согласно с вмещающими породами на границе переслаивающейся пачки аргиллитов, алевролитов и песчаников с мощным горизонтом известняков. Форма небольших секущих тел зависит от особенностей рудовмещающих разрывов, их морфологии и литологического состава вмещающих пород.

Рудные тела напоминают согласно залегающие во вмещающих породах и хорошо выдержанные по простиранию и падению жилы, сопровождающиеся пережимами, раздувами и другими осложнениями. Штокверковые, гнездовые и трубообразные залежи встре-

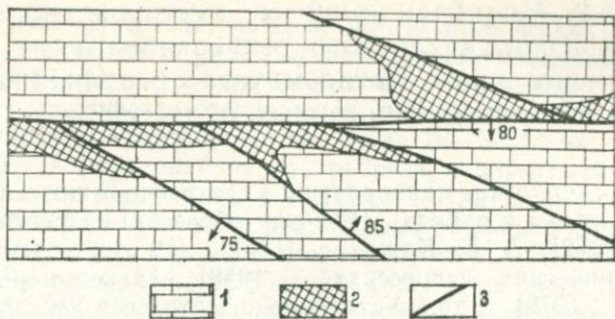


Рис. 18. Пластообразные тела ураносодержащих апатитов, приуроченные к разломам (план). По В. В. Белову [1968].

1 — известняки; 2 — тела ураносодержащих апатитов; 3 — разломы.

чаются редко. Большое значение в размещении их имеют узлы сочленения и пересечения разнонаправленных нарушений.

По данным В. В. Белова [1968], ураноносные апатиты представлены мелкокристаллическим фторапатитом. Этот минерал составляет 60—90 % объема руды. Кроме того, в рудах присутствуют: карбонат, альбит, кварц, хлорит, гидрослюда, каолинит, гидроокислы железа, флюорит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, настуран, минералы циркония и тория. Для всех апатитовых залежей характерно повышенное содержание урана. Часть урана изоморфно входит в кристаллическую решетку фторапатита, а часть присутствует в виде собственно урановых минералов либо связана с циркониевыми минералами.

Околорудные изменения проявлены слабо. Вокруг рудных тел отмечается альбитизация, сопровождающаяся слабой хлоритизацией, гидрослюдизацией и окварцеванием. На первой стадии изучения особенности вещественного состава этого месторождения привели ряд геологов к представлениям об осадочном происхождении ураноносных апатитов. Однако в процессе дальнейшего изучения было получено много данных, не укладывающихся в эти представления и свидетельствующих о наложенно-гидротермальном происхождении ураноносных апатитов. Об этом свидетельствуют морфология рудных тел и секущие контакты тел ураноносных апатитов по отношению к вмещающим породам; избирательный характер замещения ураноносными апатитами известняков; отсутствие в апатитах текстур, характерных для типичных осадочных фосфоритов; структурный контроль оруденения; многостадийность формирования месторождения; минеральный состав руд месторождения, типичный для гидротермальных месторождений; элементы-спутники (циркон, торий, редкие земли) и, наконец, наличие близких по составу руд на нижних горизонтах молибденит-настуранового гидротермального месторождения.

5.2. Молибден-урановые месторождения в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в вулканических полях позднеорогенных областей

Вопросы геологии, минералогии и геохимии таких месторождений рассмотрены в работах [Условия образования месторождений урана. . ., 1972], А. Б. Каждана [1967], [Месторождения в вулканотектонических депрессиях. . ., 1978], [Закономерности размещения. . ., 1978] и др. Установлено, что все месторождения урана, известные в связи с субаэральным вулканизмом, обладают сходством геолого-структурной позиции, минералого-геохимического состава окколорудных изменений и морфологии рудных тел. Устойчивая ассоциация минералов урана и молибдена [Геология месторождений. . ., 1966] позволяет выделить в урановой формации кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза молибденит-настурановый минеральный тип оруденения в субаэральных палеовулканических структурах и их фундаменте.

Региональная позиция молибденит-настурановых месторождений определяется их приуроченностью к крупным палеовулканическим структурам, отвечающим позднеорогенным стадиям развития геосинклинально-складчатых областей и заложением на гранитизированном дофанерозойском фундаменте [Карпова Е. Д., Смыслов А. А., Шувалов Ю. М., 1975]. Примером молибденит-настурановых месторождений могут служить объекты, размещающиеся в вулканогенном прогибе, оформившемся на позднеорогенной стадии развития каледонского подвижного пояса в пределах внутригеосинклинального поднятия, отграниченного от обрамляющих его троговых эвгеосинклиналей зонами глубинных разломов. Прогиб сложен породами андезито-молассовой (D_{1-2}), липаритовой (D_{2-3}) и гранитовой (D_3) формаций. Вулканическая деятельность контролировалась двумя системами региональных разломов: северо-западными, наследующими направление геосинклинально-складчатых структур, и поперечными северо-восточными, отвечающими орогенной стадии. Эти разломы определили структурный план вулканогенного прогиба и закономерности размещения отдельных палеовулканических структур. Зональность девонского вулканизма проявлена в значительном увеличении мощностей осадочных образований вулканогенно-молассовой формации от центра к краевым частям прогиба, где формируются приразломные прогибы второго порядка с мощностью отложений до 2000 м.

Вулканы липаритовой формации наиболее характерны для центральных частей прогиба, где в узлах пересечения продольных и поперечных зон региональных разломов полициклично развивались палеовулканические аппараты центрального типа. Наиболее крупные из них (диаметром до 20—40 км) прошли кальдерную стадию развития. Возникшие на этой стадии кольцевые и радиальные разломы контролируют размещение поясов субвулканиче-

ских интрузий, экструзий, латеральных вулканических аппаратов, которые и являются в ряде случаев рудовмещающими. Каждый из циклов начинается лавами и пирокластами андезит-дацитового состава и завершается туфоловами и игнимбритами липаритов. Кислые вулканы составляют не менее 70—80 % общего объема отложений. Характерной чертой разреза липаритовой формации является резкое преобладание продуктов вулканических выбросов игнимбритов, игнимбритовых фельзитовых порфиров и туфов.

Продукты кислого вулканизма относятся к кислотно-щелочной ветви петрохимической дифференциации. Они характеризуются натриево-кальевой специализацией, высокими содержаниями кремнезема (до 74—76 %), нередко щелочей и пониженными концентрациями фемических компонентов и извести. Содержания урана и молибдена в них повышены в 1,5—2 раза по сравнению с однотипными породами земной коры.

В краевых частях вулканогенного прогиба породы липаритовой формации слагают трещинные субвулканические интрузии, экструзии и линейные вулканические аппараты, контролируемые крупными северо-западными нарушениями. Процессы вулканизма завершились внедрением крупных интрузий лейкократовых и аляскитовых гранитов (D_3), рассекаемых дайковыми поясами диабазовых и диоритовых порфиритов.

Урановые месторождения располагаются в краевых приразломных прогибах в вулканических аппаратах линейного типа и в центральных частях вулканогенного прогиба, где они локализуются в палеовулканических структурах центрального типа. Оруденение размещается в покровных, жерловых, экструзивных и субвулканических фациях вулкаников преимущественно кислого состава. Рудные тела, как правило, тяготеют к вулканическим структурам (либо их фрагментам), находящимся в зоне влияния разломов субширотного или субмеридионального направлений. Такие разломы проявлены с поверхности флексуобразными изгибами линейных вулканических аппаратов, поясами наиболее поздних даек диабазовых и диоритовых порфиритов, участками повышенной трещиноватости.

По структурной позиции молибденит-настурановые месторождения делятся на две группы. Месторождения первой группы приурочены к субвулканическим телам и жерлам палеовулканов центрального и линейного типов, второй — локализуются в благоприятных горизонтах эффузивов покровной фации либо среди вулканогенно-осадочных толщ.

На месторождениях первой группы рудные тела чаще всего имеют штокверковое строение. Размещение рудных тел определяется главным образом структурными факторами. Наиболее благоприятны для локализации оруденения системы разноориентированных разломов, сопровождающиеся крутопадающей трещиноватостью; участки повышенной неоднородности вблизи контактов секущих вулканических тел с вмещающими покровами, а также в местах резкого изгиба флюиальности или развития эруптивных

брекчий; участки повышенной пористости, часто возникающие при предрудной березитизации; пологие зоны разломов либо дайки основного и кислого состава, экранирующие рудоносные растворы. В многофазных экструзивах и жерлах большое влияние на рудолокализацию оказывают контакты различных пород. В субвулканических интрузиях оруденение иногда локализуется в зоне тектонической трещиноватости экзоконтакта. Для линейных вулканических тел наряду с вышеперечисленными обстановками характерно появление рудных тел непосредственно в зоне магмаконтролирующего разлома — в местах резкого изгиба его простирания.

В месторождениях второй группы оруденение развивается в пологих трещинных зонах либо в благоприятных горизонтах эффузивов и пирокластов кислого и среднего составов. Размещение субпластовых тел с вкрапленными рудами здесь определяется пологими зонами тектонических нарушений, анизотропией физико-механических свойств различных горизонтов, наличием пород с повышенной эффективной пористостью, внутрiformационными несогласиями. Немногочисленные жилы приурочены к тектоническим срывам вдоль зальбандов крутопадающих даек.

Молибденит-настурановые месторождения часто сопровождаются зональными ореолами предрудной березитизации, проявленными на фоне поствулканических фумарольно-сульфатарных изменений (типа аргиллизации). Рудные тела локализуются не только в измененных породах внутренних зон, но и во внешних частях ореолов. Урановое оруденение сопровождается более локальными ореолами карбонат-пирит-хлоритовой ассоциации. В пострудную стадию образуются карбонатно-сульфидные прожилки.

В рудах настуранов тесно ассоциирует с мелкочешуйчатым молибденитом, фемолитом, иордзитом, в переменных количествах присутствуют также пирит, галенит, сфалерит, блеклые руды. Индикаторами молибденит-настуранового оруденения служат ведущие элементы рудоформирующего процесса (уран, молибден, свинец и мышьяк), иногда к ним добавляются сурьма, висмут, цинк, бериллий, золото. Ассоциация этих элементов формирует эндогенные геохимические ореолы вокруг рудных тел. В зоне окисления месторождений встречаются силикаты урана (бета-уранофан, уранофан, казолит) и урановые слюдки. Граница между зоной окисления и первичными рудами нечеткая. В пенепленизированных областях она проявлена до 20—40 м и более [Белова Л. Н., 1975]. Происхождение рассматриваемых месторождений трактуется неоднозначно. Согласно одной из точек зрения рудообразование, оторванное во времени от континентального вулканизма на десятки миллионов лет, определяется глубинными тектоническими процессами. Другая точка зрения предусматривает прямые генетические связи гидротермального оруденения с вулканизмом при широком участии в рудообразовании магматических и вадозных рудоносных растворов [Лаверов Н. П., Чернышев И. В., 1977].

При крупномасштабном прогнозировании и поисках молибденит-настурановых месторождений используются геотектонические,

структурные, магматические, литолого-фациальные, стратиграфические, геохимические и металлогенические предпосылки, позволяющие выделять перспективные вулканотектонические структуры. Ниже приведены геологические предпосылки и соответствующие им обстановки, благоприятные для формирования и локализации молибден-уранового оруденения.

Геотектонические. Ареалы развития интенсивного позднеорогенного вулканизма в пределах интрагеосинклинальных поднятий — выступов интенсивно гранитизированного фундамента геосинклинально-складчатых областей; резко редуцированные разрезы геосинклинальных отложений; крупные палеовулканические структуры центрального типа, прошедшие кальдерную стадию развития, и линейные вулканические аппараты в областях влияния зон продольных, поперечных и диагональных тектонических нарушений; наличие латеральных некков, экструзий, субвулканических интрузий, осложненных крутопадающими зонами разнонаправленной трещиноватости, пологими разломами и дайками; контакты рвущих вулканических тел, флексурные изгибы, перегибы флюиальности; горизонты с повышенной эффективной пористостью, пластовые зоны повышенной трещиноватости, пологие зоны тектонических нарушений, внутрiformационные несогласия.

Магматические и литолого-фациальные. Субаэральный вулканизм дифференцированных базальт-андезит-липаритовых серий; преобладание вулканитов кислого состава; эруптивный характер вулканизма; полицикличность; длительность и полнота формирования вулканогенных фаций; кислотно-щелочная ветвь петрохимической дифференциации с натрий-калиевой специализацией, высокими содержаниями кремнезема (74—76 %) и щелочей.

Стратиграфические. Приуроченность месторождений к средне-верхним частям разреза липаритовой формации; рудоносность субвулканических интрузий, экструзий и некков кислого состава, локализованных в вулканогенно-моцассовой формации и реже в породах фундамента.

Геохимические. Повышенные содержания урана и молибдена (кларк концентрации 1,5—2,0) в породах липаритовой формации и позднеорогенных гранитах. Региональные геохимические зоны с нарушенным первично-конституциональным распределением урана и молибдена; зоны привноса урана с повышением доли подвижного урана до 30—50 % и выше.

Гидротермально-метасоматические. Широкое развитие пропилитизации, калиевого метасоматоза, аргиллизации; интенсивное проявление предрудной березитизации.

Металлогенические. Структурно-металлогенические зоны с урановым, молибден-урановым, молибденовым, иногда кварц-золоторудным, кварц-флюоритовым, барит-полиметаллическим, реже бериллиевым, цезиевым и оловянным оруденением.

Рассматривая поисковые признаки промышленного молибденит-настуранового оруденения, следует иметь в виду, что практически все рудные тела месторождений могут залегать на глубинах от десятков до первых сотен метров. В связи с этим главное внимание при поисках должно уделяться косвенным признакам, объединенным в две группы: первая характеризует площади рудных полей и узлов, вторая — месторождения. К первой группе относятся следующие признаки.

1. Широкое распространение в благоприятных геолого-структурных обстановках предрудных гидротермально-метасоматических преобразований пород: пропилитизации, калиевого метасоматоза, березитизации.

2. Наличие зон с нарушением первично-конституционального распределения урана, а в их пределах зон привноса урана. Наиболее надежно они выявляются при радиохимическом картировании; по данным наземных и аэрогамма-спектрометрических съемок такие зоны могут выражаться резко дифференцированными гамма-полями. Для них характерно нарушение торий-уранового отношения и повышение в областях привноса доли подвижных соединений урана.

3. Сильная дифференциация в распределении элементов, сопутствующих урану в рудном процессе.

4. Наличие ореолов урана и его элементов-индикаторов (в первую очередь молибдена, свинца, мышьяка).

5. Большое количество локальных аномалий урановой природы, в том числе эвапорационных и инфильтрационных.

6. Наличие потоков рассеяния урана в донных осадках постоянных и временных водотоков.

7. Повышенные и аномальные содержания урана и радона в водах источников и поверхностных водотоков.

8. Наличие гелиевых аномалий.

К числу поисковых признаков молибденит-настурановых месторождений могут быть отнесены следующие.

1. Наличие интенсивной предрудной березитизации в благоприятной локальной геолого-структурной обстановке.

2. Развитие рудосопровождающих и пострудных изменений пород.

3. Наличие ореолов рассеяния урана, совмещенных с ореолами элементов-спутников уранового оруденения (молибден, свинец, мышьяк).

4. Аномальные концентрации радиогенного свинца (^{206}Pb) в ореолах рассеяния и радиометрических аномалиях, а также аномально высокие радиационные дефекты в кварце.

Показателем сравнительно неглубокого залегания рудных тел является пространственное совмещение сопоставимых по размерам ореолов урана, молибдена, свинца, мышьяка с более локальными ореолами меди, золота, иногда таллия, бериллия, цинка и серебра.

5.3. Урановые и молибден-урановые месторождения в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в вулканических полях областей тектоно-магматической активизации

В областях позднемезозойской тектоно-магматической активизации с широким проявлением субаэрального вулканизма промышленное урановое оруденение размещается в вулкано-тектонических структурах кальдерного типа (палеокальдерах) и их фундаменте, а также в эрозионно-тектонических впадинах. Урановые месторож-

дения в позднемезозойских палеокальдерах и их фундаменте характеризуются сходными геолого-структурными условиями локализации рудных залежей, близкими минералогическими и геохимическими особенностями руд и околорудно-измененных пород, общностью условий формирования. Ураноносные палеокальдеры, сложенные эффузивными и эффузивно-осадочными образованиями «контрастной» базальт-липаритовой ассоциации, возникли в конце юры — начале мела как составные части вулканических поясов на гетерогенном, интенсивно гранитизированном и достигшем высокой степени консолидации докембрийском субстрате [Металлогения урана. . ., 1980].

Строение разреза рудовмещающих структур в общем случае двучленное. В низах развиты покровы базальтов, андезитов, андезито-базальтов, трахидацитов, разделенные прослоями конгломератов, гравелитов и песчаников, обогащенных остатками углефицированной органики. В верхах преобладают лавы и пирокласты липаритов, фельзитов, трахидацитов. Залегание пород близко к горизонтальному и незначительно нарушается лишь вблизи дугообразных и радиальных разломов, контролирующих также размещение экструзий, жерл, субвулканических тел и даек липаритов, сиенит-порфиоров, трахидацитов, андезитов. Мощности отложений и количественные соотношения вулканитов различного состава и разной фациальной принадлежности между собой и с вулканогенно-осадочными образованиями резко различаются даже в соседствующих секторах и сегментах одних и тех же вулканотектонических структур.

В строении фундамента, размещении вулканизма и контроле оруденения важная роль принадлежит крупным долгоживущим разломам, значительная часть которых была заложена в докембрии и палеозое, активно действовала в ходе юрско-мелового вулканизма, а после определяла положение урановых месторождений. Такие разломы и сопряженные с ними разрывы разделяют вулканотектонические структуры на сектора и блоки с различным строением и нередко выступают как тектонические ограничения палеокальдер. Некоторые из крупных нарушений отчетливо прослеживаются из фундамента в эффузивно-осадочную толщу. Характерно постепенное затухание разрывов: вверх по разрезу они превращаются в прерывистые маломощные швы и полосы повышенной трещиноватости. Весьма обычно развитие пологих срывов, как правило, по плоскостям контактов пород с различными физико-механическими свойствами. В вертикальном разрезе устанавливается несколько уровней широкого развития крупных послонных срывов, являющихся важными рудоконтролирующими элементами. Часто фиксируется изменение простирания, падения и мощности разрывов и смещение их по латерали за счет проскальзывания по пологим срывам вдоль контактов различных горизонтов. Иногда наблюдающееся несовпадение структурного плана деформаций в древнем фундаменте и вышележащих отложениях может быть вызвано экранирующим влиянием мощных покровов пла-

стичных андезито-базальтов, «гасящих» крупные разломы фундамента и в то же время генерирующих «бескорневые» разломы в толще вулканитов.

Главная радиохимическая особенность всех ураноносных вулкано-тектонических структур — это сильная дифференциация и общий повышенный фон радиоактивных элементов в позднеюрско-раннемеловых эффузивах и отчетливая тенденция к наибольшему обогащению ураном и торием стекловатых и слабораскристаллизованных разностей кислых пород, поздних экструзий и субвулканических интрузий. Метаморфические и интрузивные образования фундамента характеризуются нормальными либо слабоповышенными содержаниями урана и тория.

Промышленные концентрации урана сосредоточены в разнообразных по составу вулканогенных и осадочных породах, а также в гранитах и метаморфических образованиях фундамента вулканотектонических структур. Положение месторождений и отдельных рудных залежей определяется прежде всего литолого-структурными факторами.

Подавляющее большинство урановых месторождений располагается в узлах пересечения тектонических нарушений трех-четырёх направлений, прослеживающихся и в фундаменте, и в перекрывающих вулканитах. Вмещающая среда влияет на локализацию оруденения через физико-механические особенности, главным образом хрупкость, проницаемость, коллекторские свойства. Химизм пород мало сказывается на локализации оруденения.

В соответствии с геологической позицией урановых месторождений рассматриваемой группы среди них могут быть выделены месторождения в слоистой вулканогенно-осадочной толще, в вулканитах приповерхностных фаций, в фундаменте вулканотектонических структур.

Месторождения в слоистой вулканогенно-осадочной толще. Месторождения размещаются в вулканитах различного состава и осадочных породах, обнаруживая четкий контроль системами крупных разрывных нарушений. Оруденение тяготеет к узлам сочленения крупных долгоживущих разломов, пересекающих вулканотектонические структуры. Такие узлы расположены, как правило, над эрозионно-тектоническими выступами древнего фундамента. Повторяемость в разрезе горизонтов и пачек с близкими физико-механическими свойствами обусловила многоярусность оруденения [Условия локализации ..., 1967], причем каждый из уровней характеризуется единством структурных условий локализации рудных залежей.

Нижний стратиграфический уровень развития промышленного уранового оруденения в вулканогенно-осадочном выполнении вулканотектонических структур определяется проявлением интенсивной крутопадающей трещиноватости в нижнем покрове трахидацитов и прилегающих к нему горизонтах эффузивных и осадочных пород. Эти образования состоят из чередующихся прослоев и пачек андезито-базальтов, трахидацитов, конгломератов и туфо-

генно-осадочных пород, с размывом залегающих на палеозойских лейкократовых гранитах и перекрытых конгломератами, фельзитами, андезитами верхней свиты. В эрозионно-тектоническом рельефе фундамента сочетаются валообразные поднятия и опущенные блоки, причем относительно поднятые блоки являются важными рукоконтролирующими элементами: именно над ними в перекрывающих вулканитах максимально проявлена тектоническая трещиноватость.

Для участков с промышленным урановым оруденением характерна напряженная блоковая тектоника, обусловленная широким развитием разноориентированных нарушений при ведущей роли наиболее молодых диагональных и поперечных разломов (рис. 19). Диагональные крутопадающие сбросо-сдвиги представлены сериями близвертикальных швов. Поперечные разрывы являются трещинами отрыва, возникшими при взаимодействии продольных и диагональных разломов. Пологопадающие нарушения, в большинстве случаев межпластовые срывы, фиксируются на контакте вулканогенно-осадочной толщи с гранитами фундамента, в подошве нижнего покрова трахидацитов и в основании покрова фельзитов. Зоны крутопадающей трещиноватости, контролируемые пологими и крутыми разрывами, развиваются в пологозалегающих плитообразных блоках, интенсивность нарушения которых определяется физико-механическими свойствами вмещающих пород.

Главенствующая роль в локализации оруденения принадлежит крутым поперечным и диагональным нарушениям и зонам крутопадающей трещиноватости; пологие разрывы в большинстве случаев служили экранами на пути движения рудоносных растворов. Основные рудные залежи тяготеют к тектонически нарушенным подошве и кровле покрова трахидацитов. Нижняя граница развития оруденения обычно очень четкая, резкая: она проходит по пологим разрывам на контакте трахидацитов и подстилающих конгломератов, базальтов или гранитов. Максимальной рудонасыщенностью отличаются блоки интенсивно трещиноватых, дробленых пород, примыкающие к этим пологим разрывам (см. рис. 19). По мере удаления вверх рудоносные трещины выклиниваются и степень рудонасыщенности снижается, поэтому верхняя граница развития оруденения весьма неровная.

В верхней части покрова трахидацитов положение уранового оруденения определяется пологими нарушениями на контакте кровли покрова трахидацитов с перекрывающими туфами. Эти нарушения служат верхней границей зоны трещиноватости, представляющей собою густую сеть сопряженных или пересекающихся трещин.

Развитие плотной системы разнонаправленных разрывов и пологих экранирующих нарушений на фоне гетерогенного разреза обусловило сложную морфологию оруденения на нижнем стратиграфическом уровне. Здесь располагаются важные жилообразные залежи, сопровождаемые сериями субпараллельных или оперяю-

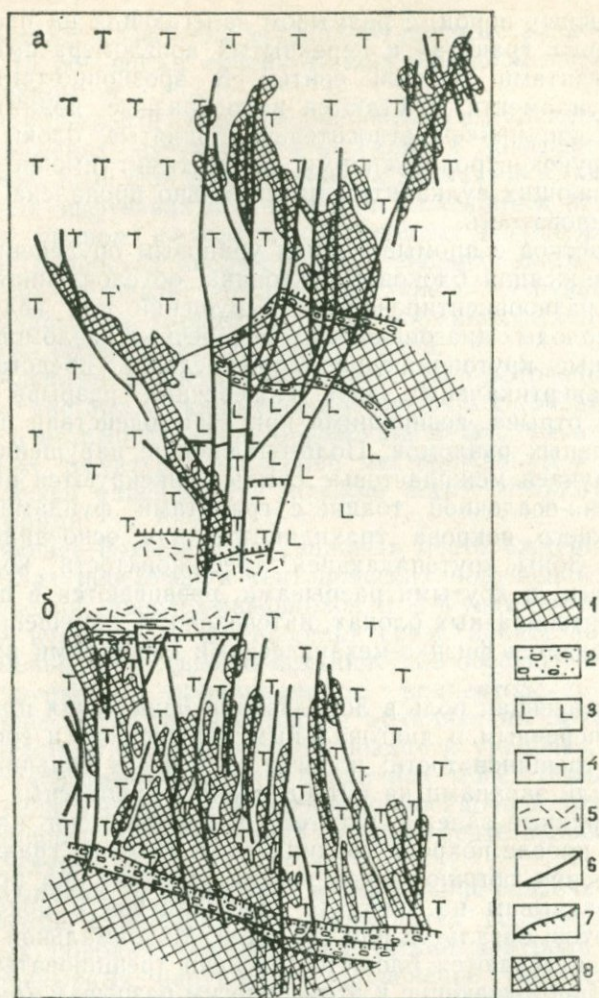


Рис. 19. Геологическое строение уранового месторождения на нижнем стратиграфическом уровне вулканогенно-осадочной толщи. По И. М. Баюшкину и др. [1976 г.].

а — план; б — поперечный разрез; 1 — граниты основания; 2 — конгломераты; 3 — андезитобазальты; 4 — дациты; 5 — туфы дацитов; 6 — крутопадающие разрывы; 7 — пологопадающие разрывы; 8 — рудные тела.

щих жил. Штокверкоподобные залежи локализуются в трещинных зонах в кровле и подошве трахидацитов, вблизи экранирующих пологих срывов. Рудоконтролирующими являются крупные диагональные, реже продольные разрывы, а оруденелыми — оперяющие их многочисленные мелкие трещины поперечного направления в приконтактных частях трахидацитового покрова.

Внутреннее строение рудных залежей чрезвычайно сложное. Они состоят из многочисленных различно ориентированных жил,

прожилков и линз, разделенных блоками пустых пород и забалансовых руд. Максимальная рудонасыщенность отмечается в подошве и кровле трахидацитов. Богатые и контрастные руды содержат рудные столбы, возникающие в узлах пересечения разнонаправленных нарушений вблизи экранирующих поверхностей. Пластообразные рудные залежи развиты более локально в зоне трещиноватости в основании вышележащего покрова фельзитов.

Основной урановый минерал в рудах — настуран, незначительная часть урана сконцентрирована в браннерите и уранините; главный сопутствующий минерал — молибденит (иордизит). Увеличение содержания молибдена и возрастание роли ассоциации настурана с молибденитом на глубине при преобладающем развитии ассоциации настурана с кварцем и пострудным флюоритом на верхних горизонтах определяют вертикальную зональность оруденения. Горизонтальная зональность проявлена в том, что центральным частям месторождения свойственна ассоциация молибденита с настураном, сменяющаяся к периферии ассоциацией кварца с настураном.

Основные элементы-спутники урана — молибден, свинец, мышьяк, сурьма, бериллий, образующие вокруг рудных тел первичные ореолы различных размеров и формы. Крупные жильные тела сопровождаются узкими, вытянутыми ореолами, рудоносные трещинные зоны — расплывчатыми, слабопроявленными ореолами. Ореолы и аномальные концентрации этих элементов располагаются в контуре урановых ореолов.

На верхнем стратиграфическом уровне промышленное урановое оруденение локализуется в интенсивно нарушенных туфогенно-осадочных породах, залегающих в основании покрова фельзитов. Все эти породы входят в разрез верхней свиты, подстилаемой мощными покровами андезито-базальтов и трахидацитов нижней свиты и прорванной крутопадающими и пологими дайками андезито-базальтов.

Геологическое строение участков с промышленным урановым оруденением определяется развитием разрывных нарушений различного направления. Наиболее четко проявлены крутопадающие поперечные по отношению к общей структуре разломы, контролируемые основные рудные залежи, а также диагональные разрывы. При блоковом перемещении по поперечным нарушениям вдоль диагональной зоны образовались трещины отрыва, явившиеся структурными ловушками для локализации крупных рудных залежей. Продольные нарушения в виде зон линейной трещиноватости играли роль экранов. Вблизи крутопадающих разломов, на контактах пород с различными физико-механическими свойствами, возникли межпластовые срывы, имевшие существенное значение для рудной локализации.

Пластообразные рудные залежи значительных площадных размеров и большой мощности, осложненные крутопадающими телами, развиваются в туфах, песчаниках, фельзитах, лавобрекчиях в тех участках, где среди этих пород и вдоль их контактов воз-

никли пологопадающие нарушения, сопровождающиеся наклонными системами трещиноватости. Наиболее богатые руды локализируются в зоне пологого срыва, пересекающего обогащенные углефицированной органикой туфопесчаники. Штокверкоподобные залежи располагаются в непосредственной близости к крутопадающим разломам, вдоль пологих нарушений в интенсивно трещиноватых породах. В участках пересечения и сочленения рудных швов, а также при пересечении ими благоприятных горизонтов (например, туфопесчаников обогащенной рассеянной органикой) образуются сложнопостроенные рудные столбы с высокими концентрациями урана. Ведущее рудоконтролирующее значение крутопадающих нарушений подчеркивается вытянутостью рудных залежей в плане. Для распределения оруденения в верхнем стратиграфическом уровне важны пологие нарушения.

Характерной чертой урановых руд в залежах верхнего стратиграфического уровня является присутствие в них промышленных концентраций молибдена и повышенных содержаний бериллия. Урановые минералы здесь представлены урановой смолкой нескольких генераций, редко титанатами урана. В незначительно развитой зоне окисления возникают окислы урана, уранофан, отенит, ильземанит, гидроокислы железа и марганца.

Урановые месторождения в слоистой вулканогенно-осадочной толще сформировались в несколько последовательных стадий минералообразования, проявившегося нередко на фоне гематитизации и ранней альбитизации, не связанных с рудным процессом.

В стадию аргиллизации возникли крупные околотрещинные линейные или уплощенные ореолы гидрослюд, тяготеющих к крутым либо пологим разрывным нарушениям; на флангах рудоконтролирующих структур гидрослюды иногда сменяются каолинитом. Мощность ореолов гидрослюдизации обычно зависит от степени нарушенности пород, интенсивности гидротермального процесса, мощности рудных тел.

Следующая стадия характеризуется повышением активности кремнекислоты в рудообразующих растворах. На месторождениях нижнего стратиграфического уровня этой стадии отвечает ассоциация нескольких генераций криптокварца с пиритом, марказитом, иногда арсенопиритом; в рудных залежах верхнего стратиграфического уровня с мелкозернистым метасоматическим кварцем ассоциируют пирит, серицит, анатаз, гематит.

Основная масса урановых минералов образовалась в ходе кварц-молибденит-настурановой стадии. Ей отвечают несколько генераций кварца, урановой смолки, молибденита (нордизита), анкерита, хлорита; менее распространены уранинит, гидрослюды, бертрандит, галенит, сфалерит, пирротин, блеклая руда (тетраэдрит). Обычные рудосопровождающие изменения здесь — альбитизация-2, гематитизация-2, в меньшей степени окварцевание и пиритизация, проявленные в виде узких полос вдоль рудовмещающих швов и трещин. В более широких ореолах встречаются метасоматические выделения шамозита.

Минерал	Стадии минералообразования		
	Кварц-карбонат-сульфидная	Рудная	Карбонат-флюоритовая
Кварц	■	■	■
Настуран		■	■
Окислы Fe	■	■	■
Пирит	■	■	■
Сульфиды Mo	■	■	■
Галенит		■	■
Халькопирит		■	■
Сфалерит		■	■
Арсенопирит	■	■	■
Кальцит			■
Анкерит	■		■
Сидерит	■		■
Доломит	■		■
Флюорит			■
Гидрослюды	■	■	■
Хлорит		■	■
Адуляр			■

Рис. 20. Последовательность минералообразования на урановом месторождении нижнего стратиграфического уровня. По Н. В. Мельникову [1968].

На месторождениях нижнего стратиграфического уровня главной рудной стадии (рис. 20) предшествует альбит-браннеритовая стадия, в ходе которой в альбитизированных трахидацитах развиваются браннеритовые руды, располагающиеся по периферии основных рудных залежей. На верхнем стратиграфическом уровне выделение основной массы урановых минералов предваряется настурановой стадией, представленной метасоматическими выделениями урановой смолки совместно с гематитом и незначительными количествами гидрослюд урана, мелкочешуйчатого молибдена.

Рудный процесс завершается флюорит-кальцитовая стадией минералообразования, характеризующейся отложением нескольких генераций разноокрашенного флюорита, кальцита, кварца, пирита, барита, диккита, шамозита, арагонита, иногда переотложенного настурана. При этом флюорит, как правило, тяготеет к верхним частям месторождений, а кальцит — к нижним.

Специфической чертой рудообразующего процесса на рассматриваемых месторождениях является отложение рудных минералов путем выполнения открытых полостей и метасоматического замещения вмещающих пород вдоль трещин. Этим объясняется широкое распространение рудных жил с крустификационным симметрично-полосчатым строением.

Структурно-текстурные особенности руд во многом зависят от морфологии рудных тел. Для осевых частей крупных жилообразных залежей характерны брекчиевые кокардовые текстуры, для их зальбандов и штокверкоподобных залежей — прожилковые и

вкрапленные. По периферии рудных тел развиваются эмульсионно-вкрапленные руды.

Месторождения в вулканитах приповерхностных фаций. Месторождения располагаются в минерализованных зонах дробления среди фельзитов, липаритов, сиенит-порфиоров, слагающих экстружии, жерла и субвулканические интрузии куполовидной, усложненной грибообразной, штокообразной и дайкообразной формы. Подобные тела, тяготеющие к крупным разломам, возникли на завершающих этапах формирования многофазных вулканических аппаратов и обнаруживают тесную связь с поздними покровами кислых лав и пирокластов.

Месторождения и рудные тела концентрируются в узлах сочленения крупных продольных и поперечных разломов, подновленных после завершения вулканической деятельности. Главными рудоконтролирующими структурами являются зоны крутопадающей трещиноватости в экзоконтактах тел сиенит-порфиоров и мелкопорфировых липаритов, в основном над куполовидными выступами кровли субвулканических тел. Интенсивность тектонической нарушенности резко возрастает в участках сближения крупных разрывов, пересекающих всю вулканогенно-осадочную толщу. В таких случаях между поверхностями разрывов развиваются системы параллельных и оперяющих нарушений. Подобные структурные условия в сочетании со сложной морфологией жерл, экстружий и субвулканических интрузий обусловили прихотливую форму рудных тел.

На одном из месторождений урановые руды слагают сложную штокверкоподобную залежь, сосредоточенную в фельзитах и сиенит-порфирах. Рудная залежь представляет собой систему разноориентированных тел различных размеров и морфологии, приуроченных к многочисленным крутопадающим трещинам в блоке между двумя относительно пологими разрывами.

Руды месторождения представляют собою каолинит-монтмориллонит-кварцевый агрегат, развивающийся по эффузивным породам и содержащий урановую смолку, пирит, флюорит, молибденит, клейофан, фосфаты и силикаты уранила. В сиенит-порфирах проявлена более ранняя альбитизация. Отложение минералов на месторождении происходило в три стадии. В первую возникли парагенетическая ассоциация гидрослюда + урановая смолка, образующая мелкую точечную метасоматическую вкрапленность и слагающая большую часть руд, а также локально распространенные пирит и молибденит. Выделения смолки диаметром до 1 мм часто имеют почковидные и фестончатые очертания и концентрически-зональное строение. Вторая стадия — кварц-смолоквая — проявилась в виде прожилков друзовидного кварца с урановой смолкой и клейофаном среди раздробленных пород. Третьей — пирит-флюоритовой (пострудной) — стадии отвечают тонкие жилки кварца с пиритом, флюоритом, баритом, кальцитом, изредка киноварью. Руды подверглись довольно интенсивному окислению. Урановая смолка в прожилковых и вкрапленных рудах

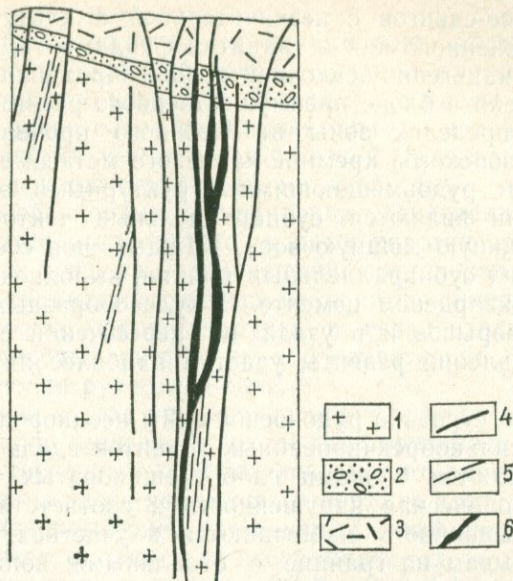


Рис. 21. Геологический разрез уранового месторождения в фундаменте вулканотектонической структуры.

1 — граниты; 2 — конгломераты; 3 — кислые лавы; 4 — разломы; 5 — зоны трещиноватости; 6 — рудные тела.

замещена уранофаном и бета-уранотилом, в трещинах и пустотах часто встречаются отенит и другие минералы шестивалентного урана.

Месторождения в фундаменте вулканотектонических структур. Месторождения представлены рудными залежами в крутопадающих зонах разрывных нарушений среди интрузивно-ультраметаморфических гранитоидов, реже других пород докембрийского и палеозойского возраста, непосредственно подстилающих позднемезозойские вулканы (рис. 21).

Одно из урановых месторождений в палеозойских гранитах фундамента вулканотектонической структуры тяготеет к сложно-построенной системе близвертикальных разрывных нарушений, группирующихся в зону мощного разлома глубокого заложения. Участок месторождения сложен крупно- и среднезернистыми, часто порфиоровидными биотитовыми гранитами среднего палеозоя, содержащими ксенолиты гнейсовидных биотитовых гранитов и пересеченными крутопадающими дайкообразными телами пегматоидных и аплитовидных гранитов. Все разности гранитоидов с разрывом перекрыты конгломератовой пачкой, слагающей низы разреза эффузивно-осадочной толщи поздней юры — раннего мела.

Зоны рудовмещающих нарушений развиваются со стороны ви-ячего бока крупного долгоживущего разлома, относящегося к ка-

тегории сбросо-сдвигов с незначительной амплитудой перемещения и прослеженного как в гранитах фундамента, так и в вышележащей вулканогенно-осадочной толще. Промышленное оруденение установлено в блоке преимущественного развития биотитовых гранитов, в пределах зоны интенсивного проявления древнего (позднепалеозойского) кремний-калиевого метасоматоза.

Основными рудовмещающими структурными элементами на месторождении являются субпараллельные тектонические швы, создающие единую мощную зону. Каждый шов состоит из одной или нескольких субпараллельных трещин, выполненных гранитной брекчией на кварцевом цементе. В кулисообразных ответвлениях и изгибах разрывов и в узлах их пересечений с нарушениями других направлений развиты участки наиболее интенсивной трещиноватости.

Внутреннее строение рудоносной зоны неоднородно. Протяженные полосы сильнобрекчированных гранитов вдоль основных разрывов разделяются блоками слаботрещиноватых пород. Максимальная тектоническая нарушенность и соответственно наибольшая рудонасыщенность наблюдаются в участках, прилегающих к пологим срывам на границе с базальными конгломератами и в узлах пересечений разнонаправленных разрывов. Рудные залежи относятся к двум структурно-морфологическим типам: это жиллообразные линейные залежи сложной формы и более мелкие простые жилы. Первые имеют сложное внутреннее строение, определяющееся характером тектонической проработки вдоль основных и оперяющих швов и трещин; раздувы тел с высокой рудонасыщенностью чередуются с пережимами. Штокверкоподобные раздувы тяготеют к экранирующим поверхностям и развиваются вблизи сочленения основных швов с оперяющими разрывами и пологими срывами либо на пересечении двух швов основной системы, где в наиболее нарушенных, брекчированных гранитах возникают открытые полости.

Жиллообразные залежи простой морфологии локализируются в ответвлениях основных швов трещин, а также в субпараллельных им нарушениях. В центральных частях таких залежей обычно находятся трещины с прожилково-вкрапленными рудами, в зальбандах — вкрапленное оруденение. По восстанию оруденение выклинивается за счет расщепления единой залежи на рудные апофизы, постепенно переходящие в забалансовые руды. Верхней границей распространения оруденения является пологая зона развальцевания вдоль поверхности контакта с базальными конгломератами вулканогенно-осадочной толщ.

Важной структурной особенностью оруденения в фундаменте является приуроченность его лишь к тем разрывным нарушениям, которые проявились как открытые только в фундаменте, а в перекрывающих породах чехла не прослеживаются и ограничиваются экранирующими поверхностями. При этом непременным условием является наличие близрасположенного сквозного разрывного нарушения, пересекающего как породы фундамента, так и чехла

и в процессе рудоотложения игравшего роль дренирующего канала. Отмечается кулисообразное строение рудовмещающих и рудоконтролирующих разрывов. Места сопряжения кулис, характеризующиеся повышенной трещиноватостью и являющиеся структурными ловушками, отличаются высокой рудонасыщенностью и максимальными концентрациями металла. Еще одной важной структурной особенностью локализации оруденения в гранитах является развитие относительно мощных пологих зон трещиноватости, сказывающихся на распределении оруденения. Они явились структурными границами раздела различных минеральных ассоциаций, слагающих урановые руды, в связи с влиянием их на динамику рудоносных растворов, а следовательно, и на физико-химические условия рудоотложения.

Вещественный состав оруденения в фундаменте вулканотектонических структур, имея черты сходства с оруденением среди вулканитов, характеризуется и определенными отличиями. Главными минералами урана здесь являются (в порядке последовательности выделения): титаниты урана (браннерит), коффинит-1, низкоотражающая урановая смолка-1 (в псевдоморфозах по коффиниту-1), высокоотражающая урановая смолка-2 и 3, коффинит-2. Основная часть урана сконцентрирована в урановой смолке. В качестве попутного элемента в рудах присутствует молибден. Установлена отчетливая вертикальная зональность. Нижние горизонты месторождения представлены браннеритовыми рудами с повышенным количеством анкерита и без молибденита, сопровождаемыми мощными ореолами метасоматической альбитизации. Выше развита смолково-коффинит-уранотитанатовая минерализация, причем урановая смолка в генерации псевдоморфно замещает коффинит. Еще выше распространена молибденит-смолковая ассоциация с кварцем и гидрослюдами.

Рудоотложению предшествовали аргиллизация, карбонатизация, окварцевание вмещающих пород. Аргиллизиты представлены двумя фациальными разновидностями: первая — каолинизированные и монтмориллонитизированные граниты — встречается редко, вторая — гидрослюдизированные граниты — резко преобладает. Ореолы гидрослюдизации приурочены к основным рудовмещающим разрывам, имеют линейно-трещиноватый характер и состоят из широкой внешней и узкой внутренней зон. Во внутренней зоне установлен значительный вынос натрия и окисного железа и заметный привнос калия и кремнезема. По гидрослюдизированным гранитам развиваются прожилки криптокристаллического кварца, железистых карбонатов, пирита, галенита и сфалерита, а затем черного микрозернистого кварца с молибденитом.

Рудосопровождающие изменения вмещающих пород представлены альбитизацией, хлоритизацией, окварцеванием. Пострудные минералы (диккит, шамозит, кальцит, пирит, флюорит) развиваются локально вдоль отдельных швов.

Текстуры руд меняются снизу вверх от исключительно тонко-вкрапленных, прожилковых, брекчиевых до кокардовых в существ-

венно смолковых рудах. Структуры варьируют от колломорфной, свойственной смолковым рудам, до зернистой в коффиновых и пластинчатых в браннеритовых рудах. В зальбандовых частях и на выклинивании рудных жил отмечаются эмульсионные структуры. Элементами-спутниками урана на месторождении являются молибден, свинец, мышьяк, цинк. Ореолы молибдена и свинца сопоставимы с ореолами урана и имеют максимальные размеры по восстанию. Они проявлены в надрудных гранитах и в нижней части вулканогенно-осадочной толщи. Еще более широкими являются ореолы урана, развитые выше выклинивания оруденения на флангах и не проявленные в надрудных горизонтах центральной части месторождения. Ореолы мышьяка имеют минимальные размеры и в надрудной толще отсутствуют.

Возраст уранового оруденения в вулканогенно-тектонических структурах и их фундаменте по геологическим данным весьма близок к самым поздним магматическим проявлениям базальт-диоритовой ассоциации [Металлогения урана ..., 1980; Строна П. А., 1978]. Судя по свинцово-урановым датировкам настуранов и калий-аргоновым датировкам слюд и калишпатов, урановое оруденение возникло через 10—15 млн. лет после самых молодых вулканитов [Лаверов Н. П., Чернышев И. В., 1977; Казанский В. И., Лаверов Н. П., Тугаринов А. И., 1978]. Палеогеографические реконструкции периода рудообразования показывают, что рудоотложение происходило на глубинах от 300 до 1500 м от поверхности, существовавшей в то время. Длительность процесса рудообразования была, по-видимому, небольшой, поскольку на месторождениях не обнаружено заметных тектонических подвижек между отдельными стадиями минералообразования.

Температура рудообразующих растворов, по данным декрепитации и гомогенизации газово-жидких включений, на ранних стадиях формирования месторождений (при гидрослюдизации) не превышала 300—350 °С, отложение настурана происходило при 120—220 °С, пострудные минералы (кальцит, флюорит) кристаллизовались при 150—80 °С [Металлогения урана ..., 1980].

5.4. Урановые месторождения в эрозионно-тектонических впадинах областей тектоно-магматической активизации

Урановое оруденение в эрозионно-тектонических впадинах, выполненных тригенно-вулканогенными отложениями, может быть охарактеризовано на примере месторождения, расположенного в области позднемезозойской тектоно-магматической активизации древних складчато-глыбовых сооружений. Здесь в пределах крупного блока земной коры, консолидированного в начале протерозоя и интенсивно гранитизированного в палеозое, в конце юры и начале мела вдоль зон долгоживущих глубинных разломов развивались пояса и системы депрессионных структур типа односторонних

конседиментационных грабенов. В одной из таких структур и располагается мышьяк-урановое месторождение, описанное М. Д. Пельменевым [1968].

В геологическом строении района месторождения участвуют разнообразные магматические и метаморфические породы домезозойского фундамента и эффузивно-осадочное выполнение эрозионно-тектонической впадины. Гнейсовидные разности гранитоидов архея и раннего протерозоя слагают крупные гранито-гнейсовые купола, прорванные ранне- и позднепалеозойскими гранитными интрузиями и частично перекрытые пермскими кислыми вулканитами. Для домезозойского фундамента характерны пониженные концентрации урана и тория (1—2 и 10 г/т соответственно); лишь позднепалеозойские гранитоиды иногда содержат до 5 г/т урана.

Рудовмещающая впадина, вытянутая вдоль зоны глубинного разлома и осложненная поперечными нарушениями, имеет асимметричное строение и выполнена мощной толщей аллювиальных, пролювиальных, озерных отложений — красноцветных и сероцветных конгломератов, песчаников, алевролитов, аргиллитов, в различной степени обогащенных остатками углефицированной органики и аутигенным пиритом. Осадочные породы чередуются с пластами и пачками липаритовых, дацитовых, андезито-базальтовых лав, туфов, игнимбритов базальт-липаритовой ассоциации. Породы фундамента и эффузивно-осадочное выполнение впадины прорваны немногочисленными дайками среднего и основного состава.

Разрез впадины характеризуется нормальными либо слабопониженными содержаниями урана и тория; надкларковые количества урана свойственны лишь некоторым покровам андезитов и дацитов и горизонтал тонких осадков.

Структурные особенности района месторождения определяются сочетанием крупных продольных и поперечных разломов древнего заложения, определявших размещение формаций докембрия и палеозоя и контролировавших процессы вулканизма и осадконакопления в ходе позднемезозойской тектоно-магматической активизации. В фундаменте разломы представлены мощными, протяженными полосами дробленых, катаклазированных пород, в пределах которых выделяются кулисообразные милонитовые швы. Во впадинах разломы проявлены системами сближенных разрывов незначительной мощности и протяженности, которые в совокупности создают зоны повышенной трещиноватости. Иногда вдоль продольных и поперечных разломов наблюдаются вертикальные смещения с амплитудой до 100 м. В узлах сочленения разнонаправленных нарушений наблюдаются максимальные мощности вулканитов и наибольшая гетерогенность осадочного разреза при сохранении общей его мощности; к таким участкам тяготеют наиболее масштабные проявления уранового оруденения.

Урановое месторождение располагается в прибортовой части депрессии и протягивается в виде полосы, субпараллельной границе впадины с ее кристаллическим обрамлением. Фундамент и

обрамление впадины на участке месторождения сложены ранне-протерозойскими гнейсами и гранитами с ксенолитами архейских мраморов и кристаллосланцев и прорваны гранитами раннего и позднего палеозоя. В разрезе мезозойских эффузивно-осадочных отложений выделены четыре свиты. Нижняя, залегающая непосредственно на фундаменте, представлена существенно конгломератовой толщей с прослоями гравелитов и песчаников, обогащенных углефицированной органикой. В верхах свиты — покров игнимбритов липаритового состава. Вторая свита залегает с глубоким размывом на нижней. В ее низах развит гравелито-конгломератовый горизонт, вмещающий пласт туфов липарито-дацитов; выше располагается песчано-алевролитовая пачка. Третья свита в нижней части сложена покровами дацитов, андезитов, андезитобазальтов, туфов, перемежающимися с пластами тонкообломочных осадков; в верхах ее залегают мощная пачка тонкообломочных песчаников, алевролитов, аргиллитов. Четвертая (верхняя) свита развита локально и залегаёт на подстилающих образованиях с глубоким эрозионным взрезом. Она сложена слабосцементированными конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами с покровами базальтов и пластами бурого угля.

Структурный план месторождения определяется сочетанием крупных разломов продольного, поперечного, диагонального направлений, что обусловило сложное строение фундамента и широкое развитие зон трещиноватости на фоне резко гетерогенного осадочно-вулканогенного разреза. В фундаменте прослежены своеобразные эрозионно-тектонические желоба с углами склонов 25—40°, осложненные крутыми уступами и террасовидными площадками. В юрско-меловой эффузивно-осадочной толще разломы проявлены неотчетливо и, как правило, затухают от низов разреза к его верхам. Обычно это одиночные разрывы, сопровождающиеся зонами разноориентированных трещин, либо полосы мелкой трещиноватости, совпадающие в плане с крупными разломами в фундаменте и тяготеющие главным образом к прибортовым частям эрозионно-тектонических желобов. Вдоль плоскостей контактов пород с различными физико-механическими свойствами широко проявлены пологопадающие срывы, причем наиболее масштабные из них установлены висячем и лежачем боках пласта туфов липарито-дацитов второй, наиболее рудонасыщенной, свиты.

Условия локализации уранового оруденения и морфология рудных тел определяются структурными факторами, которые зависят от литолого-фациальных особенностей вмещающих пород.

Урановорудные тела на месторождении группируются в узкую, прерывистую полосу, вытянутую вдоль прибортовой части впадины. Интенсивно оруденелые блоки тяготеют к понижениям рельефа фундамента, а также к поперечным заливообразным структурам, вдающимся в борта желобов.

Промышленное оруденение имеет многоярусный характер и залегает в разнообразных осадочных и вулканических образованиях,

реже в гранитоидах. Породы, вмещающие урановое оруденение, объединяются в единый продуктивный комплекс. Наибольшей рудонасыщенностью характеризуется нижняя часть второй свиты; в меньшей степени оруденелыми являются верхи первой (нижней) свиты и гранитоиды фундамента. Однозначной зависимости между фациальной принадлежностью пород и степенью рудонасыщения не наблюдается. Практически все оруденелые породы содержат природные восстановители (пирит и углефицированную органику) и отличаются повышенной эффективной пористостью [Пельменев М. Д., 1968]. Именно этими особенностями строения рудовмещающей толщи объясняются стратификация и эшелонированные оруденения в разрезе, хотя границы пластообразных рудных тел не всегда совпадают с границами горизонтов либо литологических разновидностей.

На месторождении выделено несколько морфологических типов рудных тел:

— лентообразные залежи большой протяженности, относительно небольшой ширины и выдержанной, хотя и незначительной мощности;

— линзообразные в разрезе и линейные в плане залежи сравнительно небольшой протяженности и ширины при резко изменчивой мощности;

— пластообразные в разрезе и изометричные в плане залежи небольшой площади и мощности;

— ветвящиеся жилы и гнезда сложной морфологии.

Подавляющее большинство рудных тел локализуется в низах разреза впадины, в непосредственной близости от фундамента. Пространственно рудные тела чаще всего приурочены к бортовым частям желобообразных структур, где отмечается максимальная тектоническая нарушенность гранитного фундамента и перекрывающих эффузивно-осадочных пород (рис. 22). Лентообразные тела довольно четко контролируются пологими нарушениями, тяготеющими к контактам туфов и терригенных пород, т. е. к границам разнокомпетентных сред. Линзообразные рудные тела, развиваясь в местах изгиба и приоткрывания тектонических швов, тяготеют к пачкам переслаивания пород с различными физико-механическими свойствами и резкими изменениями состава по простиранию. Внутри линзообразных тел наиболее богатое оруденение приурочено главным образом к зонам послынной трещиноватости или к линзам дробленых пород, ограниченных такими зонами. Пластообразные рудные тела обычно приурочены к пологим нарушениям среди горизонтов алевролитов и песчаников внутри существенно конгломератовых пачек. Жилообразные и гнездообразные залежи, не имеющие промышленного значения, чаще залегают среди вулканитов и гранитов фундамента.

На месторождении наблюдается экранирование оруденения разнонаправленными трещинами. На пересечении крутых и пологих трещин часто образуются гнезда богатых руд, в крутопадающих трещинах изредка встречаются рудные столбы.

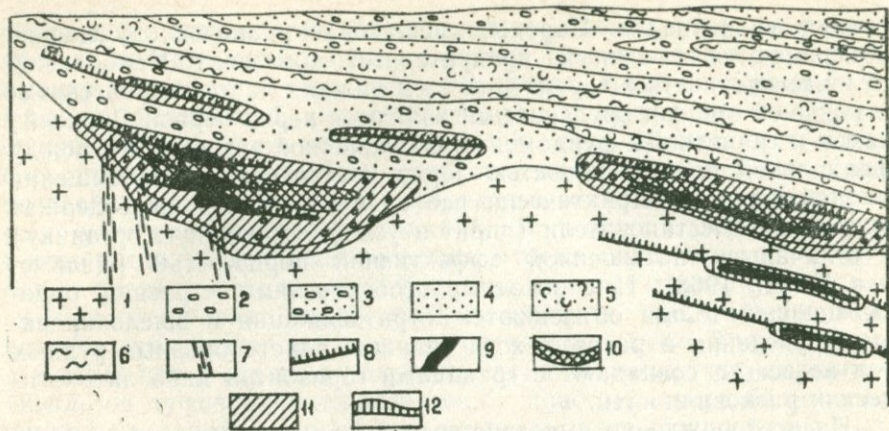


Рис. 22. Геологический разрез мышьяк-уранового месторождения. По И. М. Баюшкину и др. [1976 г.].

1 — граниты; 2 — конгломераты; 3 — гравелиты; 4 — песчаники; 5 — туфопесчаники; 6 — алевролиты; 7 — крутопадающие зоны повышенной трещиноватости; 8 — пологие зоны трещиноватости; 9 — урановые рудные залежи; 10 — внутренние зоны ореолов аргиллизации; 11 — внешние зоны ореолов аргиллизации; 12 — гидрослюдисто-карбонатные метасоматиты с кварц-сульфидными прожилками.

Литологический контроль оруденения выражается в предпочтительной локализации руд среди гравелитов и мелкогалечных конгломератов с гравийным цементом; глыбовые и валунные конгломераты менее благоприятны для развития уранового оруденения.

Руды сложены настураном, урановыми чернями, гидронастураном, коффинитом, самородным мышьяком, пиритом, кристоллическим кварцем, каолинитом, гидрослюдами, карбонатом. В небольших количествах присутствуют галенит, сфалерит, молибденит, пирротин, реальгар, аурипигмент, блеклая руда (теннантит). Зависимости между составом руд и вмещающими породами не наблюдается. Для руд характерны метаколлоидная структура и тонкодисперсный характер выделения рудных минералов. Более крупные прожилковидные или линзовидные выделения встречаются редко.

В гравелитах, игнимбритах, песчаниках и брекчированных гранитах рудные минералы концентрируются в цементе брекчий, проникают по сети трещин в обломки пород. Урановые минералы обычно образуют тонкие сростания с пиритом и самородным мышьяком в кремнисто-глинистом и карбонатном агрегате с метаколлоидными структурами. Такой парагенезис рудных минералов и своеобразие их структуры рассматриваются как результат одновременной раскристаллизации гелей, состоящих из урана, железа, мышьяка, серы, кремния, алюминия, реже кальция и магния с примесями цинка, свинца, сурьмы, молибдена. Из этих гелей до их полной раскристаллизации иногда выделялись округлые рудные стяжения диаметром до 0,1 м, состоявшие из сильно варьи-

рующих количеств урана, железа, мышьяка, серы. Дальнейшая их раскристаллизация приводила к выделению настурана, самородного мышьяка, коффинита и пирита в различных соотношениях. Возраст уранового оруденения, определенный свинцово-урановым методом, составляет 100—110 млн. лет.

Кроме урана в рудах установлены повышенные количества мышьяка, сурьмы, ртути, бериллия, молибдена, цинка. Особый интерес из элементов-спутников урана представляет мышьяк, концентрирующийся в самородном виде, а также в реальгаре и аурипигменте. Самородный мышьяк тяготеет к наиболее богатым частям урановых залежей. Реальгар и аурипигмент распространены во всей рудовмещающей толще, но не выходят за пределы рудного поля. Сурьма в содержаниях, на порядок и более превышающих кларковые, заключена в качестве примеси в пирите. Ртуть в количествах на несколько порядков выше кларковых установлена в наиболее богатых рудах и в локальных ореолах. Частично она входит в состав киновари. Молибден сконцентрирован в молибдените.

Процессы минералообразования на месторождении изучались В. Ф. Гарбузовой и другими исследователями [1970]. По их данным, рудный процесс здесь имеет много общих черт с явлениями низкотемпературного гидротермального метаморфизма, а урановая минерализация сопровождается зональными, иногда асимметричными, ореолами околорудно-измененных пород. Последовательность минералообразования показана на рис. 23.

Наиболее ранняя аргиллизация развивается практически по всем литологическим разностям, но наиболее интенсивно аргиллизированы породы в зонах послонных срывов и пологой трещиноватости. Во внешней зоне метасоматического ореола обломки и вкрапленники плагиоклазов замещаются каолинитом, биотит-хлоритом и карбонатом; основная масса пород — карбонатом, хлоритом, каолинитом. В центральной зоне плагиоклаз полностью замещается каолинитом и кварцем, по биотиту развиваются гидроокислы и пирит, по основной массе — криптокристаллический кварц, пирит, гидрослюда, цеолиты. Минерализация рудной стадии (настуран, коффинит, урановые черни, метакolloидный пирит, марказит, самородный мышьяк, реальгар) накладывается и на внешнюю и на центральную зоны аргиллизитов. В последнюю стадию сформированы карбонатные прожилки с кварцем, пиритом, сфалеритом, галенитом, молибденитом, блеклой рудой.

Зона гипергенеза на месторождении развивается в основном вдоль трещин, распространяясь иногда на значительные глубины. Среди гипергенных минералов наиболее широко распространены бурые охристые гидроокислы железа, гипс, переотложенные урановые черни, водные фосфаты и арсенаты уранила. Вторичные минералы урана часто слагают гнездообразные скопления в трещиноватых игнимбритах и гранитах.

Трактовка генезиса мышьяк-уранового оруденения осложняется своеобразием морфологии и условий локализации рудных

Минерал	Стадии минералообразования		
	Аргилли- зации	Настуран- мышьяковая	Карбонат- диккитовая
Каолинит	—	—	—
Mg-Fe-карбонаты	—	—	—
Кальцит	—	—	—
Гидрослюда	—	—	—
Хлорит	Кристал- лический	Метакри- сталлический	—
Пирит	—	—	—
Кварц	Халцедон	—	—
Рутил	—	—	—
Оксиды урана (настуран, черни)	—	—	—
Коффинит	—	—	—
Самородный мышьяк	—	—	—
Сфалерит	—	—	—
Марказит	—	—	—
Реальгар	—	—	—
Диккит	—	—	—
Барит	—	—	—
Тектонические подвижки и проткрытие трещин	—	—	—
Парагенетические ассоциации минералов	Гидрослюда - каолинит - кварц	Гидрослюда - кварц Углекислый диоксид - самородный мышьяк - сфалерит - коффинит - пирит - каолинит - кальцит	Гидрослюда - реальгар Диккит - кальцит - реальгар

Рис. 23. Последовательность минералообразования на мышьяк-урановом месторождении. По И. М. Баюшкину и др. [1976 г.].

залежей, специфическим характером выделения урановых и сопутствующих минералов, относительной локальностью вулканизма и нечеткостью его связей с урановой минерализацией. Поэтому многие исследователи вначале развивали гипотезу экзогенного происхождения таких месторождений за счет фильтрации ураноносных грунтовых вод по палеоканалам и их разгрузки на участках, обогащенных природными восстановителями — углефицированной органикой и глобулярным пиритом. Допускалась также возможность сингенетического накопления урана и последующей его концентрации при процессах экзодиagenеза.

Установление обусловленности положения рудных тел разломной тектоникой, вещественный состав и стадийности оруденения, зональность измененных пород, а также пространственные, временные, геохимические связи вулканизма и урановорудного процесса позволили отнести оруденение к категории приповерхност-

ных низкотемпературных гидротермальных месторождений, связанных с вулканическими комплексами.

Гидротермальные рудоносные растворы поднимались с глубины по зонам разломов, ограничивающим эрозионно-тектоническую впадину и рассекавшим ее фундамент. Поступая в слоистую вулканогенно-осадочную толщу, эти растворы смешивались с пластовыми водами, и дальнейшая эволюция рудогенерирующего процесса определялась взаимодействием гидротермальных растворов с водами вадозного происхождения. Высокая эффективная пористость пород и широкое развитие послонных зон дробления обеспечивали циркуляцию смешанных ураноносных растворов, а наличие структурных ловушек и природных осадителей способствовало локализации рудных тел.

5.5. Урановые месторождения в красноцветных отложениях орогенной стадии развития

Промышленные месторождения урана среди красноцветных отложений орогенной стадии развития широко распространены в варисцидах и каледонидах Евразии. Геология и другие особенности таких месторождений широко освещены в публикациях М. Ф. Ипполитова [1959] — по Итальянским Альпам; А. Барабаша, К. Вирата, Я. Винце [1966] — по Венгрии; И. Кантора [Kantor J., 1959], И. Ройковича [Rojković I., 1969], Ф. И. Жукова [1978] — по Западным Карпатам; А. А. Горшкова [1978], В. И. Данчева, Н. П. Стрелянова [1979], Ф. Х. Бартела [1976] и др. — по другим регионам.

Месторождения рассматриваемого типа локализованы среди осадочных и эффузивно-осадочных образований молассовой формации и представлены преимущественно континентальными аллювиальными, озерно-болотными и реже прибрежно-морскими фациями. Отложения красноцветной молассы, мощностью до первых километров, выполняющие мульды и грабен-синклинали, характеризуются грубообломочным составом, низкой степенью сортировки обломочного материала и сильной изменчивостью по простиранию.

Терригенные толщи, как правило, имеют двучленное строение. Нижняя часть разреза представлена конгломератами и грубозернистыми песчаниками с вулканогенным материалом, в верхах преобладают относительно мелкозернистые породы — песчаники с прослоями алевролитов и глинистых сланцев, содержащие большое количество растительного детрита, а в ряде случаев и прослой углей. Последние особенно характерны для варисской молассы, относящейся к позднему карбону — ранней перми; в разрезах каледонской молассы (D_2 — D_3) углистые прослой весьма редки. Следует подчеркнуть тесную ассоциацию красноцветных моласс с субаэральными вулканогенными образованиями преиму-

щественно кислого состава (кварцевые порфиры, фельзиты, их туфы).

В обрамлении и в фундаменте депрессионных структур, выполненных молассовыми образованиями, развиты докембрийские кристаллические породы (гнейсы, гранито-гнейсы) и палеозойские геосинклинальные складчатые образования, прорванные интрузивными породами, обычно обогащенными радиоактивными элементами. Осадконакоплению в орогенных впадинах часто предшествовал длительный период пенеппенизации и формирования кор выветривания в аридных условиях.

Выделяются три типа урановых месторождений, локализованных в отложениях орогенной стадии [Жуков Ф. И., 1978]: 1) месторождения, пространственно (и генетически?) тесно связанные с пермским вулканизмом; 2) месторождения, в формировании которых решающую роль играют экзогенные процессы (экзодиагенетические месторождения); 3) эпигенетические уран-битумные месторождения.

Месторождения первого типа локализованы в депрессионных структурах, осложняющих крупное антиклинальное поднятие. Наиболее крупные объекты здесь располагаются в пределах синклинали, представляющей собою зону перехода от антиклинория в синклинорий и сложенной конгломератами и угленосными сланцами верхнего карбона, пестроцветными эффузивно-осадочными породами перми и известняками и доломитами триаса.

Среди рудовмещающих пермских образований здесь выделяются три свиты: нижняя конгломератовая, средняя эффузивно-осадочная, верхняя осадочная гипсоносная. Нижняя свита представлена базальными конгломератами мощностью около 200 м, содержащими плохоокатанную гальку кварца, углеродисто-кремнистых сланцев, диабазов, кварцевых порфиров. Средняя свита — главная рудовмещающая — имеет мощность 250—300 м и сложена в нижней части красноцветными туфопесчаниками, туффитами и алевролитами, а в верхней — косослоистыми песчаниками, межформационными мелкогалечными конгломератами, туфами, кварцевыми порфирами и грубообломочными пирокластолитами. Верхняя свита сложена толщей ритмично переслаивающихся конгломератов, песчаников и алевролитов с прослоями карбонатных пород, гипсов и ангидритов мощностью около 1 м.

Пермские отложения смяты в складки субширотного простирания, осложненные поперечными северо-восточными складками второго порядка. Разрывные нарушения субширотного, северо-восточного и субмеридионального направлений пересекают складчатые структуры и обуславливают блоковое строение района. Кроме крутопадающих (50—70°) сбросов и сбросо-сдвигов широко проявлены и надвиги субширотного простирания с падением плоскости на юг под углом 25—30°.

Оруденение приурочено к продуктивному горизонту средней свиты, представленному чередованием лав, эффузивов, туфоконгломератов и туфопесчаников (рис. 24). Руды локализованы в гру-

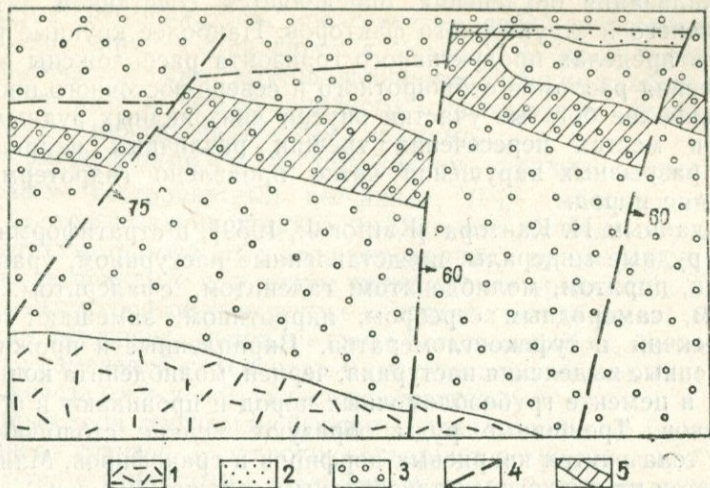


Рис. 24. Геологический план района. По Ф. И. Жукову [1978].

1 — кварцевые порфиры; 2 — алевриты и песчаники с туфовым материалом; 3 — туфо-конгломераты и туфобрекчии; 4 — разрывные нарушения; 5 — рудные тела.

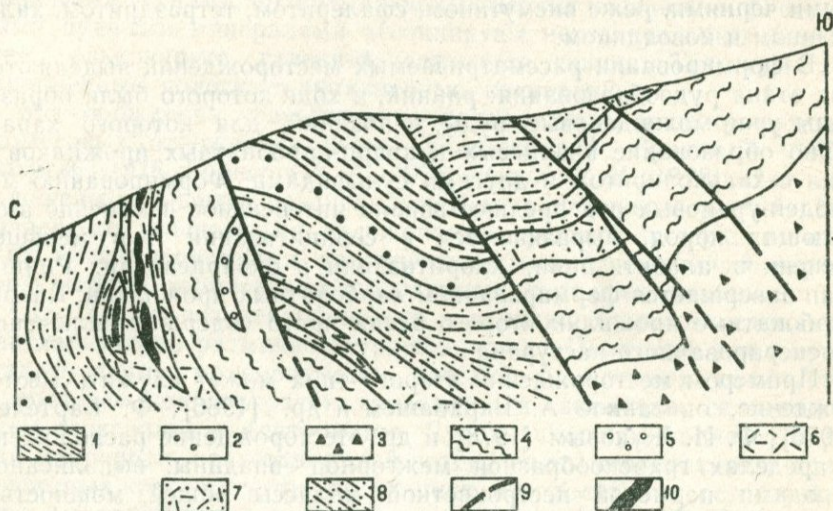


Рис. 25. Геологический разрез района. По Ф. И. Жукову [1978].

Нижний триас: 1 — пестрые сланцы; верхняя пермь: 2 — базальные конгломераты; 3 — фиолетовые песчаники, 4 — сланцы, 5 — внутриформационные конгломераты, 6 — кварцевые порфиры и их пирокласты, 7 — эффузивно-осадочный комплекс пород, 8 — сланцево-песчаные породы и конгломераты; 9 — разломы; 10 — рудные тела.

бообломочных вулканогенных породах, обычно в сводовой части антиклинальных структур, реже в зонах трещиноватости и секущих трещинах. Рудные тела — пластообразные и линзообразные метасоматические залежи в туфо-конгломератах, туфобрекчиях и туфо-песчаниках (рис. 25).

Локализация оруденения определяется сочетанием литолого-фациального и структурного факторов. Наиболее крупные рудные линзы в пределах продуктивного горизонта расположены в узлах пересечения разломов субширотного и северо-восточного простирания, наиболее богатые участки внутри линзовидных рудных залежей — в местах пересечения трещин различных направлений. Вдоль разрывных нарушений четко проявлено гидротермальное изменение пород.

По данным И. Кантора [Kantor J., 1959], в стратиформных залежах рудные минералы, представленные настураном, урановыми чернями, пиритом, молибденитом, галенитом, сфалеритом, тетраэдритом, самородным серебром, пирротинном, замещают цемент туфобрекчий и туфоконгломератов. Вкрапленные и прожилково-вкрапленные выделения настурана, черней, молибденита концентрируются в цементе грубообломочных пород и проникают в обломки эффузивов. Трещинные руды образуют мелкие столбообразной формы тела внутри кварцевых порфиров и гранофиров. Минеральный состав их аналогичен линзовидным залежам.

Вкрапленное оруденение в кварцевых порфирах, которое, по мнению Ф. И. Жукова [1978], является наиболее ранним (первичным), представлено пиритом, халькопиритом, настураном, остаточными чернями, реже висмутином, сфалеритом, тетраэдритом, халькозинном и ковеллином.

В формировании рассматриваемых месторождений выделяются два этапа рудообразования: ранний, в ходе которого были образованы уран-молибденовые руды, и поздний, для которого характерно образование кварцевых и кварц-карбонатных прожилков и жил с халькопиритом и другими сульфидами. Формированию молибден-урановых руд предшествовало интенсивное изменение вмещающих пород, выразившееся в серицитизации и в меньшей степени в альбитизации, хлоритизации и окварцевании. Ранний этап завершается формированием карбонатных прожилков. Кварц-карбонатные прожилки второго этапа часто содержат включения регенерированного настурана.

Примером месторождений второго типа может служить месторождение, описанное А. Барабашем и др. [1966], Ф. Бартеlem [1976], Ф. И. Жуковым [1978] и др. Месторождение расположено в пределах грабенообразной межгорной впадины, выполненной породами пермской пестроцветной молассы общей мощностью около 1500 м. В разрезе молассовых отложений выделяются нижнепермские красноцветные конгломераты, песчаники, пестроцветные алевролиты и верхнепермские пестроцветные, серые и красноцветные песчаники. Разрез завершается горизонтом так называемых главных конгломератов и песчаников. В основании и в бортах пермской наложенной структуры развиты докембрийские и нижнепалеозойские мигматиты и гранитоиды, кремнистые породы, кристаллические сланцы, филлиты. В средней части базального горизонта конгломератов залегает покров кварцевых порфиров.

Участок месторождения представляет собой антиклиналь широтного простирания с падением крыльев от 10 до 30°, осложненную многочисленными крутопадающими секущими сбросами северо-восточного и северо-западного простирания, продольными надвигами и межформационными срывами.

Рудовмещающими на месторождении являются «предконгломератовые» пестроцветные песчаники (P_2^3) мощностью около 130 м. Состав песчаников аркозовый, цемент железисто-глинистый. Продуктивные розоватые и зеленые средне- и крупнозернистые аркозовые песчаники с прослоями гравелитов и аргиллитов расположены между горизонтами серых и красных песчаников. Судя по реликтам первичных пород, зеленые песчаники образовались в результате изменений красноцветных и серых песчаников (восстановление железа, окисление углистых остатков.)

Рудные тела линзовидной формы, локализованные внутри продуктивного горизонта, широко варьируют по размерам. Граница рудных тел с глинистыми сланцами висячего бока резкая, а с подстилающими песчаниками очень сложная и нечеткая.

По литологическому составу руды практически не отличаются от вмещающих пород. Минерализация представлена настураном и урановыми чернями, пропитывающими цемент песчаников. С основными рудными минералами ассоциируют незначительные количества халькопирита, галенита, селенидов свинца. Текстуры руд крапленые, полосчато-крапленые, пятнистые.

Месторождения третьего типа локализованы в пестроцветных молассовых отложениях перми [Корничук И., Буртик Т., 1976; Ниту Ж., 1976; Горшков А. А., 1978; Жуков Ф. И., 1978]. Они расположены в пределах позднепалеозойского орогенного прогиба, выполненного угленосными отложениями среднего и верхнего карбона и пестроцветными континентальными отложениями перми, перекрытыми терригенно-карбонатными породами мезозоя.

Для средне-позднекарбонového и пермского циклов седиментации характерно ритмичное строение толщ. Пермский цикл представлен двумя макроритмами, каждый из которых начинается отложением конгломератов, гравелитов и заканчивается накоплением песчаников и алевролитов. Рудовмещающим является верхний макроритм, представленный чередованием сероцветных и красноцветных конгломератов, песчаников, алевролитов и состоящий из пяти мезоритмов (горизонтов) мощностью 120—200 м. Каждый мезоритм в свою очередь разделяется на несколько микроритмов мощностью до первых десятков метров. Микроритмы начинаются конгломератами или грубозернистыми песчаниками и завершаются алевролитами и аргиллитами. По фациальной принадлежности отложения относятся к аллювиальным; среди них выделяются фации горного подножия, речной долины, русла, поймы и стариц, озерно-болотные.

Отложения карбона и перми смяты в складки, образующие синклинорий северо-восточного направления, разделенный антиклинальным поднятием на две синклинали. В их пределах выде-

ляются более мелкие антиклинальные и синклиналильные структуры. Углы падения крыльев складок 30—40, иногда до 50—70°. Разноориентированные взбросы, надвиги, сдвиги и сбросо-сдвиги осложняют пликативные структуры района.

Урановое оруденение располагается в отложениях нижнего и двух верхних мезоритмов верхнего макроритма пермского цикла седиментогенеза. Рудовмещающие породы представлены русловыми конгломератами, гравелитами и крупнозернистыми песчаниками, залегающими в низах разрезов мезоритмов. Рудные тела явно эпигенетического происхождения имеют пласто- и линзообразную, иногда столбообразную (в местах, где породы смяты в крутые складки) форму; их контуры точно соответствуют границам древнего речного русла. При этом оруденение развивается не на всем протяжении палеоруслу, прослеживающегося на несколько километров. Наиболее благоприятными являются замковые части антиклиналей, измененные тектоническими нарушениями и интенсивно трещиноватые. Рудовмещающие породы пересекаются и смещаются крутопадающими разрывными нарушениями. Заложение разломов скорее всего дорудное, но иногда наблюдаются и пострудные подвижки, вызывающие растаскивание рудного вещества по трещинкам.

Основным носителем урана в рудах является антраксолит, содержащий настуран в виде тонкодисперсных включений. Иногда встречается тонковкрапленный настуран в цементе песчаников и в мельчайших трещинках внутри твердых битумов. Распределение рудного вещества определяется гранулометрическим составом и текстурой вмещающих песчаников. Руды, как правило, имеют полосчатую или массивную текстуру. В сильнотрещиноватых и раздробленных участках рудных тел наблюдаются повышенные концентрации антраксолита, появляются прожилковые скопления его, которые в ряде случаев из цемента по трещинкам проникают в гальку.

Существуют различные представления о генезисе месторождений в молассоидных отложениях. Молибден-урановое оруденение на месторождениях группы рассматривается как осадочно-вулканогенное, причем образование урановой минерализации обусловлено, по мнению Ф. И. Жукова, гидротермальной деятельностью, сопровождавшей пермский вулканизм, а рудное вещество отлагалось и в вулканитах, и в сопряженных с ними осадочных толщах в процессе их накопления (осадочно-вулканогенный генезис).

Месторождения второго типа, по представлениям ряда геологов [Барабаш А. и др., 1966], являются экзодиагенетическими. Их образование связано с поступлением ураноносных растворов в продуктивную толщу в период ее формирования. Отложение урана происходило на стадии раннего диагенеза из растворов, фильтрующихся через осадок при повышенном окислительно-восстановительном потенциале, обусловленном достаточным количеством растительного детрита. Ф. И. Жуков [1978] считает, что образование месторождений следует связывать с гидротермальной деятель-

ностью, сопровождающей формирование пермских вулканов. Другие исследователи, например А. А. Горшков [1978], рассматривают эти месторождения как гидротермальные, связанные с глубинными источниками рудоносных растворов.

Генезис уран-битумных месторождений (третий тип) также является дискуссионным. Большинство исследователей признается эпигенетический характер оруденения (наличие метасоматических изменений пород, структурный контроль оруденения, формирование битумов из жидких углеводородов, заполнявших благоприятные коллекторы, развитие жильных ураноносных битумов и т. д.). Эти особенности могут свидетельствовать в пользу гидротермального происхождения оруденения [Горшков А. А., 1978]. При этом допускается, что формирование месторождений происходило при смешении глубинных растворов с пластовыми водами вмещающих пород.

5.6. Урановые месторождения в зонах разломов в лейкократовых гранитах

В последние годы в областях мезозойской тектоно-магматической активизации изучались своеобразные урановые месторождения, локализованные в минерализованных зонах дробления среди гранитных массивов. Руды этих месторождений представляют собой агрегат водных силикатов шестивалентного урана — уранофана и бета-уранотила, ассоциирующих с кальциевыми цеолитами (десмином, ломонтином) и глинистыми минералами — монтмориллонитом и гидрослюдами [Рогова В. П., 1976]. Рудовмещающие интрузии относятся к юрской лейкогранитовой формации, которая отвечает ранней стадии мезозойской активизации палеозойских геосинклинально-складчатых сооружений и их докембрийского обрамления.

В региональном плане массивы юрской лейкогранитовой формации отчетливо тяготеют к долгоживущим глубинным разломам, разделяющим блоки с различным геотектоническим режимом на доактивизационных этапах геологической истории. Размещение конкретных интрузий контролируется узлами сочленения крупных продольных и поперечных, реже диагональных по отношению к генеральным структурам региона тектонических нарушений. С массивами лейкократовых гранитов ассоциируют многочисленные грейзеновые и грейзено-жильные пневматолито-гидротермальные месторождения олова, вольфрама, молибдена. На некоторых из них многостадийный рудный процесс завершается локально проявленной низкотемпературной минеральной ассоциацией, включающей цеолиты и карбонаты. Иногда на вольфрамовое, оловянное и молибденовое оруденение накладывается убогая урановослюдковая минерализация.

Интрузии, вмещающие промышленное урановое оруденение, представляют собой штокообразные тела, имеющие округлые либо

неправильные, близкие к изометричным, очертания и площадь в первые сотни квадратных километров. Сложены они преимущественно средне- и крупнозернистыми, обычно порфиroidными лейкократовыми гранитами, иногда двуслюдяными гранитами с характерным темным кварцем. В периферических частях интрузий, как правило, развиты мелкозернистые разновидности гранитоидов ранних фаз внедрения и ограниченно распространены жилы и штоки аплитов, пегматитов, пегматоидных гранитов, дайки диоритовых и андезитовых порфиритов. В массивах рассеяны разновеликие, чаще некрупные, ксенолиты биотитовых и биотит-амфиболовых диоритов и диорито-гнейсов, а также мелкие шлировидные обособления, обогащенные биотитом. Кое-где они группируются в линейные струи и полосы, создавая среди лейкократовых гранитов участки, отличающиеся несколько повышенной меланократовостью.

Рудоносным гранитным массивам обычно свойственны повышенные фоновые содержания урана и тория (6—7 и 25—27 г/т соответственно), весьма дифференцированное распределение радиоактивных элементов и значительная доля легко выщелачиваемого урана. В грейзенизированных разностях содержания урана нередко возрастают, достигая иногда 40—60 г/т. Характерной особенностью рудоносных массивов является широкое развитие солевых ореолов урана в пониженных частях рельефа. К зонам разломов среди лейкократовых гранитов приурочены термальные источники, воды которых часто содержат аномальные концентрации урана и радона.

Возраст массивов лейкогранитовой формации на основании свинцово-урановых и калий-аргоновых датировок определяется в 190 млн. лет, что соответствует началу юры. К концу юры гранитные массивы были выведены на дневную поверхность и начали подвергаться интенсивному физико-химическому выветриванию.

Все геологические образования области активизации рассекаются зонами брекчирования, милонитизации, катаклаза вдоль одиночных разломов или кулисообразно расположенных систем разрывов. В таких зонах, независимо от состава и возраста вмещающих пород, развиваются процессы низкотемпературного минералообразования, обусловившие возникновение глинистых минералов (гидрослюд, монтмориллонита), криптокристаллического кварца, кальциевых цеолитов (десмина и ломонтита), карбонатов. Наиболее полно эти процессы проявляются в пределах массивов лейкогранитовой формации, где подобные зоны, нередко минерализованные уранофаном и бета-уранотилом, прослежены без существенных изменений до глубин около 1 км.

Геологическая позиция и структурный план урановых месторождений определяются тектоническими нарушениями, группирующимися в достаточно мощные и протяженные системы разрывов второго и третьего порядков и состоящими из серии минерализованных зон дробления (сближенных субпараллельных, иногда ветвящихся и пересекающихся под острыми углами). Простираение зон не всегда выдержанно, им свойственны многочисленные изгибы

и расщепления с образованием оперяющих структур высоких порядков.

Промышленное урановое оруденение, локализуясь в минерализованных зонах дробления, практически не выходит за пределы гранитных массивов и располагается в наиболее нарушенных их частях. Рудоносные зоны обычно состоят из центральных швов, выполненных сильнобрекчированными, иногда тонкоперетертыми гранитами или глиной трения, и примыкающих к швам полос в различной степени катаклазированных, дробленных и трещиноватых гранитов. Мощность зон резко возрастает и внутреннее строение их существенно усложняется на участках изгибов по простиранию и падению, а также при сопряжении с разрывами других направлений. В целом наибольшей рудонасыщенностью характеризуются клиновидные блоки, расположенные между сочленяющимися под острыми углами разрывами (рис. 26). Такие блоки фиксируются в физических полях минимальными значениями электросопротивления и пониженной магнитной восприимчивостью.

Урановое оруденение подчиняется структурному контролю. Рудные залежи в виде сближенных крутопадающих жил, реже пологозалегающих линз, гнезд, клиновидных тел оруденелых брекчий приурочены к центральным частям зон дробления и оперяющим их нарушениям более высоких порядков (рис. 26). В местах сочленения жил возникают рудные столбы. Раздувы жильобразных залежей и увеличение в них содержаний урана наблюдаются на участках изгибов зон по простиранию и падению и в местах сочленения с другими нарушениями. Подобные участки выступают в качестве структурных ловушек, обуславливающих локализацию наиболее масштабного оруденения у естественных экранов, роль которых выполняли притертые плоскости. Рудные тела нередко не имеют выходов на дневную поверхность.

Характерная особенность участков с промышленным урановым оруденением — это неравномерное развитие разновременных наложенных процессов. Наиболее ранние из них — альбитизация и грейзенизация, изредка сопровождающиеся появлением вкрапленности вольфрамита, шелита, молибденита. Несколько более поздняя пропилитизация приводит к возникновению маломощных прожилков пирита, халькопирита, молибденита, иногда флюорита. Самые поздние низкотемпературные глинисто-цеолитовые изменения, наиболее тесно ассоциирующие с урановым оруденением, проявлены в минерализованных зонах дробления в виде зональных ореолов, отчетливо наложенных на альбитизированные, грейзенизированные и пропилитизированные граниты. Во внешних, наиболее широких частях ореолов кальциевые цеолиты — ломонтит и десмин — замещают плагиоклазы; в промежуточных зонах они развиваются и по калишпатам значительно нарушенных гранитов. Внутренние зоны тяготеют к крупным нарушениям, преимущественно шовным их частям. Здесь цеолиты совместно с монтмориллонитом и криптокристаллическим кварцем, иногда с карбонатом, практически полностью замещают интенсивно брекчированные лей-

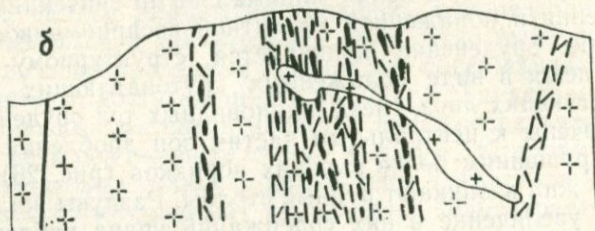
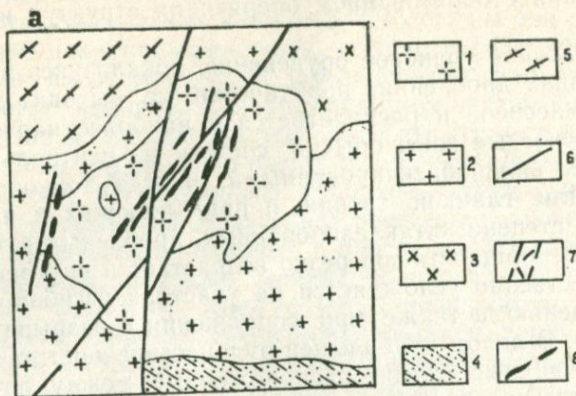


Рис. 26. Уранофан-бета-уранотил-цеолитовое месторождение в массиве лейкократовых гранитов.

a — план; *б* — разрез; 1 — граниты лейкократовые и биотитовые средне-крупнозернистые порфиroidные (ранняя—средняя юра); 2 — граниты и гранодиориты биотитовые и биотит-амфиболовые (поздний палеозой); 3 — гранодиориты, диориты биотит-амфиболовые (ранний палеозой); 4 — песчаники, сланцы (палеозой); 5 — гнейсы и кристаллические сланцы (ранний протерозой); 6 — разломы; 7 — зоны брекчирования, милонитизации, катаклаза, сопровождаемого цеолитизацией и глинистыми изменениями (только на разрезе); 8 — урановорудные тела.

кократовые и биотитовые граниты и слагают полиминеральные прожилковые агрегаты или кварц-цеолит-монтмориллонитовые брекчии.

Урановая минерализация на месторождениях представлена преимущественно уранофаном и бета-уранотилом; вблизи дневной поверхности и на верхних горизонтах в переменных количествах встречаются отенит, метаотенит, урансодержащий апатит, редко сабугалит; известны единичные находки окислов урана и коффинита. Незначительная часть урана сорбирована гидроксидами железа и марганца, а также монтмориллонитом. Урановые минералы выделяются в интенсивно дробленных гранитах в тесной ассоциации с цеолитами, глинистыми минералами, криптокристаллическим кварцем. Уранофан и бета-уранотил образуют тесные сростания с цеолитами, заполняют межзерновые пространства, слагают гнезда, пустоты и трещины в жилах. В богатых рудных столбах встречаются ветвящиеся прожилковые скопления урановых минералов. Промышленные руды обычно развиваются только в участ-

ках интенсивной цеолитизации. Увеличение количества гидрослюдов приводит, как правило, к резкому уменьшению содержания урана.

Текстуры руд прожилковые, прожилково-вкрапленные, брекчиевые, иногда друзовые и жеоловые, структуры зональные, иногда колломорфные. По составу руды чисто урановые. Спорадические повышенные концентрации олова, вольфрама, молибдена, свинца, меди обусловлены предшествующими урановому рудообразованию явлениями грейзенизации и пропилитизации. Элементов-спутников урана не установлено. Температура формирования урановых руд оценивается по данным гомогенизации газовой-жидких включений в кварце, десмине и ломонтите в 130—100 °С. Возраст уранового оруденения, определенный свинцово-изотопным методом, 120—140 млн. лет.

Генезис месторождений трактуется двояко. Сторонники гидротермального их происхождения опираются в своих построениях на многоэтапность связанного с лейкогранитовой формацией рудогенеза, эволюционировавшего от редкометалльных грейзенов до низкотемпературных ассоциаций, исключительно четкий структурный контроль оруденения, зональное строение околорудных ореолов, данные термометрии.

Однако целый ряд геологических, геохимических и других черт оруденения не противоречит и гипотезе трещинно-инфильтрационного его происхождения, в соответствии с которой отложение урановых и сопутствующих минералов, и в том числе подавляющей части промышленных руд, происходило в результате деятельности метеорных вод.

О такой возможности свидетельствуют: гидрогеологический режим в пределах выведенных на дневную поверхность массивов лейкократовых гранитов, широкое развитие кор выветривания в сочетании с глубоко проникающими и открытыми для метеорных вод тектоническими нарушениями на фоне пород с повышенными содержаниями подвижного урана, а также специфические черты минерального состава руд и околорудно-измененных пород. Во-первых, это обычный парагенезис десмина и ломонтита с глинистыми минералами, типоморфный для зоны приповерхностного минералообразования из нагретых метеорных растворов в областях современного вулканизма, и, во-вторых, отсутствие в рудных телах компонентов, обычных для низкотемпературных гидротермальных месторождений. Трещинно-инфильтрационная гипотеза полнее учитывает и геохронологические данные, свидетельствующие о значительной растянутости рудоформирующего процесса во времени.

5.7. Уран-битумные месторождения в кристаллических породах срединных массивов

Район месторождений приурочен к позднепалеозойской линейной краевой геосинклинально-складчатой системе на стыке последней с молодой платформой. Область сопряжения этих структур перекрыта осадочными образованиями платформенного чехла.

Уран-битумные месторождения приурочены к крупному кристаллическому массиву, испытавшему сводовое поднятие. Обрамление массива представлено отложениями геосинклинальных формаций палеозойского возраста.

В массиве, по данным Е. Д. Карповой и др. [1975], три главные ассоциации пород: метапороды первично-осадочного происхождения (биотитовые плагиогнейсы, биотит-гранат-силлиманитовые, биотит-кордиеритовые гнейсы и кварц-биотитовые сланцы); метапороды анатектического происхождения (биотитовые мигматит-граниты, кордиерит-гранатовые мигматит-граниты); останцы субстрата среди мигматит-гранитов (графитосодержащие кварциты, биотит-графитовые сланцы, мраморы).

Эти отложения подразделяются на две серии: нижнюю, включающую мигматит-граниты с останцами мраморов и кварцитов, и верхнюю — гнейсосланцевую. Возраст субстрата ранне-среднепалеозойский, возраст метаморфизма — позднедевонский — раннекарбонный. В северном обрамлении кристаллического массива развиты зеленосланцевые породы ордовика—силура, а в западном, кроме того, карбонатные (S_2-D_1) и карбонатно-терригенные ($D-C_1$) отложения.

Магматические образования представлены мелкими интрузиями гранитоидов каменноугольного возраста и линейно вытянутыми интрузиями плагиогранитов и гранодиоритов пермского возраста. К этому же времени относится внедрение дайкоподобных тел турмалиновых гранитов, субвулканических дацитовых и кварцевых порфиров, даек микродиоритов.

Внутри кристаллического массива, особенно в его краевых частях, широко проявлены разномасштабные разрывные нарушения. Как правило, они представляют собой серии сближенных субпараллельных нарушений и фиксируются blastomylonитами, проявлениями позднепалеозойского магматизма и грабенообразными впадинами, выполненными мел-палеогеновыми и неогеновыми отложениями.

Блоковое строение района определяется сочетанием северо-восточных, северо-западных и субмеридиональных разрывных нарушений (рис. 27). Северный и южный блоки отличны по геологическому строению и характеризуются различной минерализацией. Уран-битумные месторождения располагаются в южном блоке. Южный блок, протягивающийся в северо-восточном направлении на 35 км при ширине от 2 до 6 км, сложен мигматит-гранитами, разнообразными гнейсами и кристаллическими сланцами и осложнен системой северо-восточных и субмеридиональных разрывных нарушений, сопровождающихся ореолами низкотемпературных гидротермальных изменений пород и разнообразной жильной минерализацией.

К одному из сбросов в северо-западной части массива и приурочена урановая минерализация, сопровождающаяся ореолами гидротермально-измененных пород. Этот разлом, протяженностью около 9 км и мощностью от нескольких десятков метров до 200—

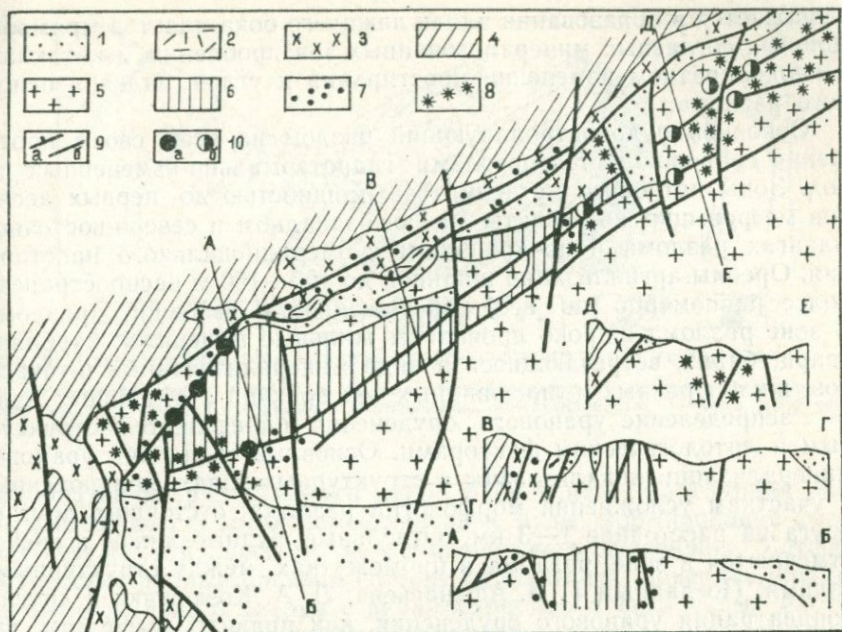


Рис. 27. Структурная схема урановорудного района.

1 — мел-палеогеновые и неогеновые отложения; 2 — пермские субвулканические интрузии дацитов и кварцевых порфиров; 3 — позднепалеозойские гранитоиды; 4 — зеленосланцевые и терригенно-карбонатные отложения (O—C); 5—6 — метаморфический комплекс; 5 — мигматит-граниты, мигматиты и гнейсы, 6 — то же, с пластами мраморов и биотит-графитовых кристаллических сланцев; 7—8 — приразломные (околотрещинные) гидротермально-измененные породы; 7 — аргиллизиты, 8 — натровые метасоматиты; 9 — надвиги (а) и сбросы (б); 10 — проявления урановой минерализации: а — битум-настурановые; б — настуран-фторапатитовые и битум-настурановые.

250 м, имеет устойчивое северо-восточное простирание, крутое падение (СЗ и ЮВ $60-90^\circ$) и является основной рудовмещающей структурой для рассматриваемых уран-битумных месторождений. Он представляет собой зону интенсивной трещиноватости, катаклаза и брекчирования, иногда это серия маломощных субпараллельных швов. Основная шовная зона ориентирована согласно с простиранием вмещающих пород и осложнена серией сопряженных и оперяющих нарушений (зон дробления) северо-восточного и субмеридионального направлений, пользующихся преимущественным развитием в северо-западном крыле основного разлома. Эти разломы большей частью являются «послойными» зонами дробления, контролируемые гнейсовидностью, слоистостью или поверхностями раздела вмещающих пород. Их протяженность обычно десятки метров, иногда до первых сотен метров; падение $25-45$, редко $75-80^\circ$.

Строение основного рудоконтролирующего разлома усложняется при пересечении им пластов и пачек мраморов, а также гранитов, пегматитов и других хрупких пород, залегающих среди более пластичных биотит-графитовых и биотитовых сланцев. Это

выражается в образовании вдоль лежащего бока пластов мраморов мощных согласных минерализованных зон дробления и катаклаза и неоднократном изменении простирания и углов падения основного разлома.

Основной рудоконтролирующий разлом на всем своем протяжении сопровождается ореолами гидротермально-измененных пород. Зоны натрового метасоматоза мощностью до первых десятков метров широко развиты на юго-западном и северо-восточном флангах разлома и по трещинам субмеридионального простирания. Ореолы аргиллизации шириной до 100—150 м распространены более равномерно по всей протяженности основного разлома. В зоне разлома широко проявлены жильные минералы: карбонат, кварц, барит, встречающиеся в виде минерализованных штокверков, жилообразных и линзовидных тел брекчий и отдельных линз.

Распределение уранового оруденения определяется структурным и литологическим факторами. Основные скопления урановой минерализации локализованы в структурных узлах, приуроченных к участкам усложнений морфологии разлома, отстоящих друг от друга на расстояние 1—3 км. Отдельные рудные линзы и гнезда отмечаются в зоне разлома в промежутках между структурными узлами. По данным Г. В. Афанасьева, Л. А. Козюренка и других, концентрация уранового оруденения, как правило, выше там, где сочленение шовной зоны основного разлома с оперяющими ее разрывами происходит в участках развития неоднородных по составу пород. Наиболее благоприятны для локализации уран-битумного оруденения графитсодержащие сланцы, гнейсы, мигматиты и др.

Урановые тела на месторождениях — это штокверки и брекчиевые зоны среди аргиллизированных пород. Они сложены кварц-карбонатным материалом, обломками измененных боковых пород с неравномерной вкрапленностью, гнездами и прожилками настурансодержащих твердых битумов, настурана и сульфидов, а также прожилками и вкрапленностью графита. На отдельных участках шовной зоны фиксируются тела линзовидной и реже неправильной формы. Наиболее крупное рудное тело и вмещающая его зона имеют линзообразную, вытянутую по вертикали форму (рис. 28). Рудная зона, пересекая пластичные биотит-графитовые сланцы, расщепляется, ее мощность около пачки мраморов и при пересечении хрупких пород среди пластичных увеличивается. Наиболее богатое оруденение фиксируется в графитсодержащих породах, а в мраморах оруденение либо бедное, либо отсутствует. В приповерхностных частях рудная зона состоит из субпараллельных штокверковых тел и кокардовых брекчий и сопровождается широким ореолом жильного розового анкерита и кварца. С глубиной мощность ее, количество анкерита и кварца в ней уменьшаются и увеличивается «компактность». Выклинивание рудной зоны по простиранию сопровождается ореолом розового анкерита и поздних сульфидов. На верхних горизонтах текстуры руд прожилковые и гнездово-вкрапленные, иногда кокардовые, обусловленные последовательным отложением настурансодержащего твердого битума и

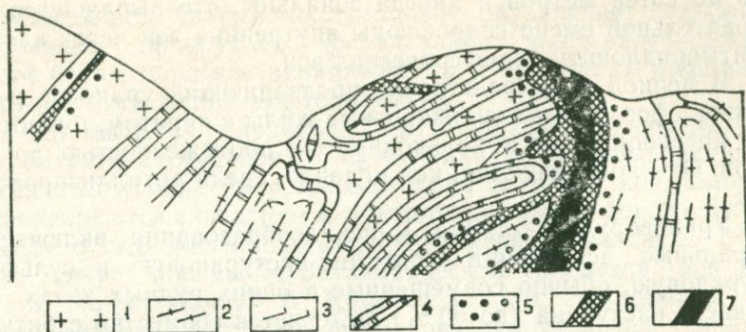


Рис. 28. Схематический геологический разрез уран-битумного месторождения.

1 — мигматит-граниты; 2 — гнейсы и кристаллические сланцы; 3 — биотит-графитовые кристаллические сланцы; 4 — мраморы и кальцифиры; 5 — аргиллизиты; 6 — зоны дробления; 7 — рудные тела.

карбонатов вокруг обломков пород в брекчиях. На глубине развиты гнездовые и гнездово-вкрапленные руды, формирование которых связано с процессами метасоматического замещения. Метасоматические рудные брекчии состоят из доломита, анкерита, реликтового и жильного кварца с вкрапленностью и линзочками настурансодержащего твердого битума и мелкими почками и жилками настурана.

В пределах рудного поля ураноносные зоны повсеместно сопровождаются широкими первичными ореолами рассеяния урана. В приповерхностных частях первичных ореолов до глубины нескольких десятков метров при индифферентном поведении тория наблюдается резкое смещение радиоактивного равновесия в сторону радия (400—2000 %), вызванное выносом урана. Урановая минерализация сопровождается ореолами рассеяния молибдена, цинка, свинца, серебра и ртути.

Характерна продольная зональность первичных ореолов рассеяния элементов, заключающаяся в постепенном затухании, по мере выклинивания рудных зон по простиранию, элементов-индикаторов в последовательности U—Mo—Zn—Ag—Hg. В некоторых рудных зонах намечается вертикальная зональность первичных ореолов рассеяния, характеризующаяся наличием в нижней части разреза урана, молибдена, цинка и в верхней — серебра и ртути. В отдельных рудных зонах месторождения фиксируются повышенные содержания мышьяка, фосфора, кадмия и некоторых других элементов, связанные с аномальными ореолами рассеяния урана.

Урановорудная минерализация представлена урансодержащими твердыми битумами (антраксолиты, кериты), настураном в ассоциации с сульфидами, иногда браннеритом и коффинитом.

Формирование месторождений происходило в четыре стадии.

1. В раннюю предрудную стадию происходило интенсивное серицит-гидрослюдисто-глинистое изменение вмещающих пород вдоль зон разломов. Ореолы аргиллизированных пород имеют мощ-

ность до сотен метров и иногда зональны, что выражается в последовательной смене гидрослюды внутренних зон через каолинит к монтмориллониту периферических зон.

2. В период, непосредственно предваряющий урановое рудоотложение, сформировались кварцевые жилы с пиритом, пирротинном, реже арсенопиритом и халькопиритом протяженностью до сотен метров. Они локализируются, как правило, среди аргиллизированных пород.

3. Урановорудная стадия минералообразования включает две минеральные ассоциации — битумно-настурановую и сульфидно-настурановую, обычно совмещенные в одних рудных телах. Большая часть настурана (до 50 %) выделяется совместно с битумами в начале стадии и отлагается в ореолах аргиллизации. Совместно с настурансодержащими твердыми битумами изредка отмечаются коффинит и браннерит. В состав ассоциации входят также доломит, анкерит, кварц и сульфиды. Содержание твердых битумов в рудах не превышает 1—2 %.

В состав сульфидно-настурановой ассоциации входят настуран, сфалерит, пирит, молибденит, кварц, анкерит, иногда твердые битумы. Сульфидно-настурановые руды либо слагают концентрически-зональные агрегаты, либо образуют мелкие гнездовидные скопления. Эта ассоциация минералов формировалась непосредственно за отложением минералов битумно-настурановой ассоциации либо несколько позднее, в конце урановорудной стадии. Характерно, что ураноносны доломит-анкеритовые жилы с твердыми битумами, в то время как кварцевые и кварц-карбонатные с сульфидными жилами обычно безрудны.

4. Процесс формирования месторождений завершается образованием карбонат-сульфидных и барит-сульфидных жил. Их состав: анкерит с повышенным содержанием марганца, безрудные твердые битумы, образующие гнезда в центральных частях жил, халькопирит, пирит, сфалерит, галенит. Барит пространственно обособлен и слагает мелкие жилы на флангах месторождений.

В восточной части района, где главным типом оруденения является настуран-фторапатитовый, наблюдается совмещение его в одних вмещающих структурах с битумно-настурановым оруденением.

Настуран-фторапатитовому оруденению предшествовал процесс образования околотрещинных натровых метасоматитов, состоящих из альбита, хлорита, гематита, карбонатов, анатаза и брукита, иногда серицита. Настуран-фторапатитовое оруденение локализовано в зонах дробления в центральных частях тел натровых метасоматитов. Позднее по зонам дробления, секущим эти минеральные агрегаты, развиваются процессы околотрещинной аргиллизации и пиритизации с последующим выделением настурансодержащих твердых битумов, настурана, сульфидов, карбонатов и кварца. При этом твердые битумы развиваются преимущественно в натровых метасоматитах, пересекающих графитсодержащие породы; резко уменьшается количество карбонатов и кварца,

сопровождающих битумно-настурановое оруденение; ослабляется интенсивность предрудной аргиллизации; настурансодержащий твердый битум образует вкрапленность в минералах вмещающих пород — альбите, хлорите, фторапатите.

По данным Е. Д. Карповой, Г. В. Афанасьева и других, признаков битумно-настуранового оруденения в перекрывающих его меловых отложениях не установлено, но в гальке конгломератов мела фиксируются альбититы и анкерит из рудных зон. Кроме того, установлено, что жилы, содержащие анкерит и сфалерит рудной стадии, секут породы субвулканической интрузии пермского возраста. По данным Л. В. Комлева и М. С. Филиппова, абсолютный возраст битумно-настуранового оруденения (свинцово-изотопный метод) составляет от 12,4 до 132 млн. лет. Последняя цифра характеризует руды хорошей сохранности и соответствует раннему мелу, а первая соответствует окисленным рудам с флангов месторождений. Таким образом, вероятнее всего возраст уранового оруденения раннемеловой.

Этап уранового рудообразования, очевидно, протекал вслед за основным магматизмом и блоковыми движениями, связанными с проявлением в районе юрской тектоно-магматической активизации. В дальнейшем, вероятно в период кайнозойской тектоно-магматической активизации, произошли регенерация урановых руд и привнос урана, что подтверждается цифрами абсолютного возраста (64 и 25—12 млн. лет).

Что касается источников урана и твердых битумов, предполагается заимствование компонентов битумов из вмещающих углеродсодержащих толщ, возможно на глубине в очагах зарождения рудоносных растворов.

5.8. Месторождения, пространственно и генетически связанные с ураноносными углеродистыми сланцами

Ураноносность углеродистых сланцев. В складчатых областях своеобразную группу образуют месторождения и многочисленные, часто недостаточно изученные на глубине, рудопроявления урана, пространственно и генетически связанные с позднепротерозойскими — палеозойскими ураноносными углеродистыми сланцами.

Под общим названием ураноносные углеродистые или черные сланцы рассматриваются в разной мере метаморфизованные морские отложения типа сапропелевых глинистых и хемогенных кремнеземистых илов с повышенной сингенетической концентрацией урана ($U \geq 0,001\%$) и ряда сопутствующих элементов. Главнейшими литогеохимическими особенностями металлоносных пород этого типа являются повышенные содержания карбонизированного вещества ($C_{орг} \geq 0,5\%$), сульфидной серы и часто фосфора при отсутствии сингенетических карбонатов.

В складчатых областях ураноносные углеродистые сланцы встречаются в разных осадочных и вулканогенно-осадочных формациях мио- и эвгеосинклинальных зон: в глинистой (сланцевой), кремнистой, карбонатной, терригенно-карбонатной, поздней терригенной (флишоидной) и терригенно-вулканогенной спилит-кератофирового ряда. Накопление ураносодержащих сапропелевых илов происходило в обширных бассейнах седиментации типа окраинных морей с системами островных дуг и контролировалось фациальными условиями осадкообразования. Благоприятными для отложения ураноносных сапропелевых илов являлись зоны замедленного осадконакопления. Уран извлекался из морских вод, скорее всего, в стадию раннедиагенетического изменения неуплотненных, сильно обводненных илов в основном путем сорбции органическим веществом и частично фосфатами. Образование ураноносных черносланцевых толщ происходило в определенные эпохи развития земной коры и в общем плане было обусловлено эволюцией органической жизни и причинно связанными с нею необратимой этапностью формирования геохимических ландшафтов Земли и изменениями гипергенной миграции урана [Альтгаузен М. Н., 1956; Перельман А. И., 1968].

В умеренно метаморфизованных черносланцевых толщах по вещественному составу и особенностям строения целесообразно различать как минимум четыре разновидности ураноносных углеродистых сланцев: углеродисто-кремнистые породы типа фтанитов и лидитов, филлитовидные углеродистые сланцы, углеродистые и углеродисто-фосфатные породы (табл. 3).

Наибольшим распространением в складчатых областях пользуются углеродисто-кремнистые породы и филлитовидные углеродистые сланцы, слагающие пачки мощностью от первых десятков метров до многих сотен метров. Углеродистые и углеродисто-фосфатные породы встречаются в резко подчиненном количестве, образуя маломощные прослойки в горизонтах частого переслаивания и небольшие линзовидные залежи.

В ураноносных углеродистых сланцах породообразующее органическое вещество сильно карбонизировано и представлено химически инертным перантрацитом (или антракосолитом). Оно содержит ничтожное количество битумов (до 0,1%), следы гуминовых кислот и в основном состоит из остаточного органического вещества с высокой (96—98%) концентрацией углерода. Количество серы варьирует от 0,5 до 6—8%. В породах, не затронутых процессами выветривания, она заключена главным образом в сульфидах (пирит, пирротин, арсенопирит, марказит и др.), а в выветрелых преобладающей является сульфатная сера (барит, целестино-барит, гипс, алуниит и др.). Фосфаты представлены апатитом, подолитом и весьма характерными для металлоносных углеродистых сланцев сложными фосфатами алюминия, стронция и бария из группы флоренцита—гойяцита (горсейксит, сванбергит и др.).

ТАБЛИЦА 3

РАЗНОВИДНОСТИ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ УРАНОНОСНЫХ
УГЛЕРОДИСТЫХ СЛАНЦЕВ

Разновидности, внешний вид и особенности строения	Минералогический состав (курсивом выделены породообразующие минералы)	Содержание основных породообразующих компонентов, %			
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	C _{орг}	P ₂ O ₅
Углеродисто-кремнистые породы — черные, плотные, яшмовидного облика, тонко- и толстоплитчатые, часто отчетливо слоистые	<i>Кварц, халцедон, углеродистое вещество, роскоэлит, серицит, хлорит, рутил, пирит</i>	75—95	1—10	0,5—2	1
Филлитовидные углеродистые сланцы — черные, отчетливо сланцеватые, тонкоплитчатые, неяснослоистые, приртноносные	<i>Кварц, хлорит, серицит, роскоэлит, тремолит, углеродистое вещество, полевые шпаты, пирит, рутил</i>	40—75	10—20	1—5	1
Углеродистые породы — черные, блестящие, антрацитовые, неяснослоистые, хрупкие, с характерной скорлуповатой отдельностью	<i>Кварц, углеродистое вещество, серицит, хлорит, рутил, пирит</i>	20—60	5—15	20—70	1
Углеродисто-фосфатные породы — черные, матовые, аргиллитоподобные, плотные, нечеткослоистые, часто с фосфатными концентрациями	<i>Кварц, апатит, горсейксит, сванбергит, углеродистое вещество, серицит, хлорит, пирит</i>	10—30	20—40	10—20	10—30

В углеродистых сланцах с невысокой концентрацией фосфора содержание первично-конституционального урана находится в прямой пропорциональной зависимости от количества породообразующего органического вещества ($C_{\text{орг}}/U \approx 1000$). В углеродисто-кремнистых и филлитовидных углеродистых сланцах* разных складчатых областей фоновая концентрация урана 0,001—0,005 %, а в углеродистых породах 0,02—0,08 %. В углеродисто-фосфатных породах содержание сингенетического урана достигает 0,1 % даже при сравнительно небольшом количестве органического вещества. Содержание тория во всех разновидностях ураноносных

* В шильнометаморфизованных черносланцевых толщах аналогами этих пород являются черные микрокварциты и графитсодержащие кристаллические сланцы с повышенным фоновым содержанием урана и сопутствующих элементов.

углеродистых сланцев, как правило, близко к кларковым в земной коре и торий-урановое отношение варьирует в пределах 0,05—0,2.

Наряду с ураном и элементами, которые являются основными компонентами породообразующих минералов (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, S, S и P), в ураноносных углеродистых сланцах повсеместно отмечается повышенное содержание V, Mo, TR, Ba, Sr (0,001—1,0 %); Cr, Ti, Ni, Cu, Zn (0,01—0,1 %); Pb, As (0,0001—0,001 %); Ag (0,0001—0,001 %). В ряде районов и не во всех разновидностях описываемых пород в концентрации более кларковой встречается Mo, Au, Co, Cd, Zr, Be, Sn, Se, Tl, Re, Sn, Bi, В и другие микроэлементы.

В ураноносных углеродистых сланцах первично-конституциональный уран находится в рассеянном состоянии. В породах с низкой концентрацией фосфора подавляющая часть урана, скорее всего в форме дисперсных выделений настурана, заключена в породообразующем углеродистом веществе. В углеродисто-фосфатных породах значительное количество урана в виде изоморфной примеси находится в труднорастворимых фосфатах типа горсейкита. Расчеты по фоновой концентрации в наиболее распространенных разновидностях показывают, что в 1 км³ углеродистых сланцев заключено не менее 40—50 тыс. т урана и огромное количество других ценных элементов. При этом в умеренно метаморфизованных черносланцевых толщах складчатых областей до 60—80 % рассеянного (фонового) урана находится в подвижной, легкоизвлекаемой форме.

Во многих складчатых областях условия, благоприятные для мобилизации и перераспределения урана, рассеянного в углеродистых сланцах, возникали неоднократно в разные периоды геологического развития. В значительном масштабе перераспределение урана осуществлялось при регионально-плутоническом метаморфизме и гидротермальной деятельности в областях тектоно-магматической активизации, при образовании кор выветривания и в результате циркуляции подземных трещинных вод региональных гидрогеологических систем, особенно в эпохи проявления орогенной активизации. В связи с этим в ураноносных черносланцевых толщах фанерозойских складчатых областей и складчатого фундамента молодых платформ наряду с осадочными месторождениями комплексных уран-молибден-ванадиевых руд встречаются разнообразные по вещественному составу и закономерностям локализации эпигенетические концентрации урана гидротермального и инфильтрационного генезиса.

С первично-металлоносными черносланцевыми толщами тесно связаны также разные по условиям образования и промышленной ценности месторождения и рудопроявления золота, серебра, молибдена, ванадия, вольфрама, свинца, цинка, меди, фосфатов, барита и других полезных ископаемых. Уран и легко мигрирующие элементы, мобилизованные в углеродистых сланцах, частично выносились из черносланцевых толщ и при благоприятных геологических условиях могли накапливаться в иных осадочных и маг-

матических формациях. Принимая во внимание широкое распространение углеродистых сланцев — уникальных концентраторов урана и других ценных элементов, можно предполагать, что наличие и закономерности пространственного размещения металлоносных черносланцевых толщ в континентальных блоках земной коры в значительной мере предопределяли металлогеническую, в частности урановорудную, специализацию ряда складчатых областей и активизированных частей молодых платформ.

Особенности проявления уранового оруденения в углеродистых сланцах характеризуются на примере месторождений, локализованных в ураноносных поздне- и раннепалеозойских черносланцевых толщах Центральноазиатского и Центральноевропейского подвижных поясов.

5.9. Осадочные урановые месторождения

Осадочное (сорбционно-диагенетическое) оруденение контролируется стратиграфическими, фаціальными и литогеохимическими особенностями ураноносных черносланцевых толщ. Оруденение отмечается главным образом в разрезах миогеосинклинального типа и локализуется в углеродистых сланцах с высокой концентрацией $C_{орг}$ и P_2O_5 . Наиболее интересными в практическом отношении являются горизонты из ритмично чередующихся «рудных» и «нерудных» прослоек. Рудные сложены углеродистыми, иногда углеродисто-фосфатными породами. Мощность прослоек от 0,1—0,2 до 10—20 см. Степень насыщения ими рудоносных горизонтов, как правило, не превышает 20—30 %. Нерудные прослойки представлены углеродисто-кремнистыми породами и филлитовидными углеродистыми сланцами. Рудоносные горизонты частого переслаивания имеют значительную протяженность при мощности от 1—2 до 15—20 м. Уран и сопутствующие элементы (V, Mo, Re, TR, Cu, Pb, Zn, Ni, Ag, Sr, Sc, Se и др.) находятся в рассеянном состоянии и сосредоточены в основном в рудных прослойках. Уран тесно связан с породообразующим углеродистым веществом и фосфатами. Минеральные формы нахождения урана и большинства сопутствующих элементов окончательно не установлены.

Осадочное оруденение является комплексным, полезные компоненты руд — уран, молибден, ванадий, в ряде районов — рений, редкие земли, селен. Среди редкоземельных преобладают элементы иттриевой группы, иногда с высокими кларками концентрации лютеция и тулия. Содержание полезных компонентов ниже кондиционных требований. Однако комплексность оруденения, возможность механического обогащения руд и параллельного извлечения урана и других ценных элементов позволяют надеяться, что в будущем осадочные уран-молибден-ванадиевые месторождения черносланцевых толщ привлекут внимание промышленности и, возможно, будут разрабатываться по крайней мере в горно-руд-

ных районах с благоприятными природно-экономическими условиями.

Наиболее интересными в практическом отношении представляются месторождения, приуроченные к шарнирным частям складок. На таких участках рудоносные горизонты обычно сильно гофрированы и неоднократно повторяются в сближенных выходах на поверхности. В связи с этим рудонасыщенность в шарнирных частях и замыканиях складок, как правило, значительно большая, чем на крыльях структур. На таких участках основная масса руд залегает в приповерхностной зоне и может обрабатываться карьерами.

5.10. Гидротермальные урановые месторождения

Районы распространения гидротермального оруденения приурочены в основном к срединным массивам и интрагеосинклинальным поднятиям, претерпевшим тектоно-магматическую активизацию главным образом в стадию сводово-глыбового развития. Оруденение локализуется внутри и по периферии зон экзоконтактового изменения пород и характеризуется двумя рудно-минеральными ассоциациями: высокотемпературной браннерит-уранинитовой и среднетемпературной сульфидно-настурановой.

Характеристика браннерит-уранинитового оруденения приводится на примере мелких и средних месторождений, расположенных в пределах ранне-среднепалеозойского срединного массива с преимущественным распространением активизационных гранитоидов. Месторождения приурочены к крупным ксенолитам, сложенным отложениями PR_3 — € черносланцевой толщи с миогеосинклинальным типом разреза. Уровень регионального метаморфизма пород рудовмещающей толщи соответствует фации зеленых сланцев. Углеродистые сланцы содержат в среднем 5—7 % $C_{орг}$, в составе которого отмечается в среднем до 0,5 % битумов. Постепени карбонизации породообразующее углеродистое вещество является близким к графиту. Концентрация урана в углеродистых сланцах варьирует от первых тысячных долей процента до 0,01—0,025 %. В повышенном количестве присутствуют V, Mo, TR, As, часто Co, Ni и другие элементы.

Отложения продуктивной черносланцевой толщи смяты в крупную антиклинальную складку, усложненную мелкой складчатостью. Падение на крыльях структуры 70—90° с выполаживанием в местах флексурного изгиба пластов до 20—30°. В сводовой части прослеживается протяженная зона дробления, состоящая из серии сближенных субпараллельных нарушений. Зона выполнена мелкообломочной брекчией. Вокруг активизационных гранитоидов отмечаются зональные ореолы контактово-измененных пород. В ореолах выделяются три зоны: внутренняя неясносланцеватых роговиков (100—140 м); промежуточная кордиеритовых сланцев (500—1500 м) и внешняя спорадического развития кон-

тактово-метасоматического биотита (≥ 1000 м). Уранинит-браннеритовое оруденение приурочено в основном к промежуточной зоне и слабо проявлено во внешней части контактового ореола.

Размещение оруденения контролируется также структурными и литологическими факторами. Рудные тела линзовидной и неправильной формы локализуются в сколовых трещинах типа сбросов и сбросо-сдвигов и в зоне мелкообломочных брекчий в свободной части антиклинали. Наибольшая интенсивность оруденения отмечается на участках пересечения разрывными нарушениями гетерогенной по составу пачки ураноносных углеродистых сланцев, известняков и глинисто-известковых сланцев. Углеродистые породы с наибольшей концентрацией $C_{орг}$ (15—16 %) неблагоприятны для локализации руд.

Браннерит-настурановая минерализация отмечается в альбитизированных разностях пород и мелкообломочных брекчиях с наложенными гидротермально-метасоматическими новообразованиями железистого биотита, актинолита, диопсида, апатита, сидерита, флюорита и хлорита. Основными рудными минералами являются браннерит, продукты его метамиктного распада, уранинит, ильменит и рутил. Значительным распространением в рудах пользуется пирротин. В резко подчиненном количестве отмечается тухолит (?). В качестве второстепенных минералов встречаются пирит, арсенопирит, иногда молибденит, халькопирит и галенит. Часть урана заключена в биотите, диопсиде и актинолите. Околорудные изменения проявлены в окварцевании и слабой биотитизации вмещающих пород. Пострудная минерализация представлена прожилками хлорит-пирротинового состава, цеолитом (ломонтит, десмин) и апофиллитом. Руды тонковкрапленные, реже прожилково-вкрапленные, представлены метасоматитами с реликтовой брекчиевой текстурой или метасоматически преобразованными, интенсивно трещиноватыми сланцами. По содержанию урана руды бедные и рядовые.

В геохимическом плане оруденение характеризуется четко выраженной уран-титановой специализацией. В повышенной концентрации в рудах отмечаются Th, Mo, Pb, Y, Zr, Sc, Cr и Sr, содержание которых увеличивается с возрастанием количества урана. Встречаются также V, As, Cu, Co, Ni. Количество Co и Ni находится в обратной пропорциональной зависимости от концентрации урана, а V, As и Cu вначале увеличивается, затем уменьшается при увеличении содержания урана.

На описываемом месторождении сульфидно-настурановое оруденение проявлено слабо. В других областях развития ураноносных черносланцевых толщ в сходных геологических обстановках намечается широкое площадное распространение гидротермальной минерализации этого типа. Сульфидно-настурановая минерализация характеризуется уран-молибденовой специализацией и встречается за пределами ореолов контактовых роговиков в удалении не менее 1,5—2 км от интрузий гранитоидов. Оруденение локализуется в кварцевых и кварц-полевошпатовых

жилах и прожилках, а также в доломитизированных и тремолитизированных известняках, реже в гидротермально-измененных углеродистых сланцах: в пятнисто-осветленных (пятна светло-зеленоватой, розоватой и желтоватой окраски) и прокварцованных углеродисто-кремнистых породах, серицитизированных и сульфидизированных филлитовидных углеродистых сланцах. Основными рудными минералами являются настуран, молибденит, иногда сульфоарсениды никеля и меди, которые ассоциируют с пиритом, пирротином, арсенопиритом, титанатами ванадия, халькопиритом, блеклой рудой, сфалеритом и галенитом, иногда с повышенным содержанием серебра. Характерными минералами настуран-молибденитовой ассоциации являются также голдманит, радиально-лучистый тремолит, цельзиан, элахерит, жильный кварц, карбонаты и барит. Руды вкрапленные, прожилково-вкрапленные с очень неравномерным распределением рудных минералов.

Образование браннерит-уранинитовой и сульфидно-настурановой минерализации происходило в связи с процессами контактового метаморфизма и постмагматической гидротермальной деятельности. Уран и другие микроэлементы заимствовались из вмещающих углеродистых сланцев. Рудообразование контролировалось физико-химическими параметрами среды и структурно-литологической обстановкой в разных зонах и в ближайшем окружении контактовых ореолов. Накопление урана и сопутствующих рудных элементов сопровождалось привнесом бария, магния, кальция, фосфора и выносом из рудовмещающих пород калия и бора. Генетическая связь браннерит-уранинитовой и сульфидно-настурановой оруденения с активизационными гранитоидами, контактовым метаморфизмом и постмагматической гидротермальной деятельностью, наряду с отмеченными выше геологическими и минералого-геохимическими данными, подтверждается радиологическими датировками руд, гранитов, типоморфных минералов контактовых роговников, кварцевых и кварц-полевошпатовых жил. Например, в описанном районе распространения сульфидной настурановой минерализации радиологический возраст, млн. лет: гранитоидов 270 ± 5 , сульфидно-настурановой минерализации 270 ± 60 , новообразованного биотита из внешней части контактового ореола 247 ± 5 , радиально-лучистого тремолита 262 ± 5 и элахерита из кварцевых жил 246 ± 5 .

Важнейшими геологическими предпосылками образования урановорудной минерализации рассматриваемого типа являются: расположение района развития ураноносных черносланцевых толщ в областях тектоно-магматической активизации с интенсивным проявлением гранитоидного магматизма и связанного с ним контактового метаморфизма; наличие благоприятных для локализации руд структурно-литологических обстановок — зон дробления и повышенной проницаемости, а также гетерогенных пачек переслаивания хрупких углеродисто-кремнистых пород и филлитовидных углеродистых сланцев с прослоями и линзами известняков и известняковых сланцев. При оценке перспективности района необхо-

димо учитывать глубину эрозионного среза, а для определения наиболее рациональной методики поисково-оценочных работ — наличие мощных, интенсивно проработанных кор выветривания. Прямые и косвенные поисковые признаки определяются отмеченными выше особенностями вещественного состава руд и рудовмещающих пород, условиями образования и закономерностями размещения браннерит-уранинитовой и сульфидно-настурановой минерализации в ураноносных черносланцевых толщах.

Интересными в практическом отношении являются стратиморфные урановые месторождения. Формирование этих месторождений в течение длительного отрезка времени, с одной стороны, и под воздействием различных геологических факторов (седиментация, диагенез, метаморфизм, гидротермальные процессы, гипергенез) — с другой, затрудняют отнесение их к определенному рудно-формационному типу. В связи с этим их обычно рассматривают как «формацию месторождений в углеродистых сланцах» [Котляр В. Н., 1973; Лаверов Н. П., 1979]. По своему вещественно-минеральному составу они могут быть отнесены к карбонат-пириткоффинит-настурановому минеральному типу. Однако в ряде случаев на месторождениях наблюдаются реликты более ранней настуран-карбонатной (гидротермальной) минерализации [Глаголев Н. А., 1980]. Это позволяет отнести рассматриваемые месторождения к группе полигенных.

Описываемые месторождения известны в пригеосинклинальных прогибах срединных массивов, а также в древних антиклинориях альпийской Карпатско-Балканской складчатой области [Жуков Ф. И., 1978]. Характерно, что месторождения этого типа находятся, как правило, в пределах урановорудных провинций, где известны постмагматические гидротермальные урановые месторождения. Один из рудных районов расположен в пределах узкого поднятия, сложенного интенсивно дислоцированными породами геосинклинального этапа ($O - C_1$) и граничащего вдоль продольного северо-восточного разлома с наложенной мульдой, выполненной вулканогенно-терригенными молассовыми отложениями орогенного яруса ($C_2 - P_1$). Палеозойские образования в свою очередь перекрыты горизонтально залегающими породами платформенного этажа.

Положение рудного поля определяется узлом пересечения указанного поднятия зоной поперечных разломов северо-западного простираия, относящейся к группе глубинных. В смежных районах, как подчеркивает Б. Л. Рыбалов [1965], эти разломы контролируют размещение разновозрастных интрузивных образований и ряда гидротермальных месторождений, в том числе урановых. Рудовмещающие породы относятся к формации черных сланцев, которые накапливались в мелководных морских бассейнах в спокойной тектонической обстановке, обусловившей их обогащение тонким органическим веществом (сапропели) и повышенные концентрации целого ряда элементов, в том числе U, Mo, V, Pb, Zn, Ag, P, иногда TR и др. Содержания этих элементов, в том числе

урана, на порядок и более превышают кларковые значения для соответствующих пород. Отмечается приуроченность месторождений к определенному стратиграфическому уровню. Основная масса руды локализована в пачках углеродисто-кремнистых сланцев.

В строении месторождений принимают участие метаморфизованные осадочные образования ордовика, силура и девона, объединяемые в единую «продуктивную толщу», в разрезе которой выделяются пять горизонтов [Гецева Р. Б., Дерягин А. А., 1963]: глинисто-сланцевые (O₃); углеродисто-кремнистые, углеродисто-глинистые, реже известковисто-глинистые сланцы (S); доломитизированные известняки, доломиты, известняки, прослои углеродисто-глинистых сланцев (S); углеродисто-глинистые сланцы (S); известняки с прослоями известковисто-глинистых сланцев, алевролит (D).

В верхней части горизонта глинисто-сланцевых сланцев отмечаются прослои песчаников с карбонатным цементом, обогащенные органическим веществом и содержащие вкрапленность пирита. Углеродисто-кремнистые и углеродисто-глинистые сланцы (горизонты 2—4) содержат прослои доломитизированных известняков; для них характерно наличие большого количества конкреций, тонких пропластов и вкрапленности пирита, реже конкреций фосфорита и многочисленных прожилков кварца. Верхние горизонты разреза характеризуются наличием силлов и даек диабазов.

Магматические образования в пределах рудного поля и месторождений проявлены слабо. Кроме силлов и даек диабазов, имеющих предположительно девонский возраст, в районе развиты мелкие интрузивные тела гранитоидов, дайки лампрофиров, а также пермские вулканогенные образования (лавы и субинтрузивные тела кварцевых порфиров, мелафиры). Крупные интрузивные тела гранитоидов, с которыми ассоциируют в регионе гидротермальные месторождения, в районе отсутствуют.

Геосинклиналильные отложения, в том числе «продуктивной толщи», смяты в сложные асимметричные (вплоть до сомкнутых и лежащих) складки линейного типа, осложненные поперечными пликативными нарушениями, формирование которых, по-видимому, связано с движениями по глубинным разломам северо-западного простирания.

Складчатые структуры осложнены разрывными нарушениями, среди которых Б. Л. Рыбалов [1965] выделяет доскладчатые, со-складчатые срывы и постскладчатые. К доскладчатым он относит крупные продольные разломы северо-восточного простирания, наиболее крупные из которых ограничивают поднятие с флангов. Соскладчатые нарушения проявлены в виде надвигов и зон межформационных срывов. Система надвигов образует характерные чешуйчатые структуры, в которых иногда наблюдается неоднократное повторение разрезов продуктивной толщи. Надвиги, как правило, осложняют опрокинутые и лежащие складки, осевые плоскости которых параллельны плоскостям надвигов. Контакт глинисто-сланцевых сланцев ордовика и углеродисто-кремнистых сланцев

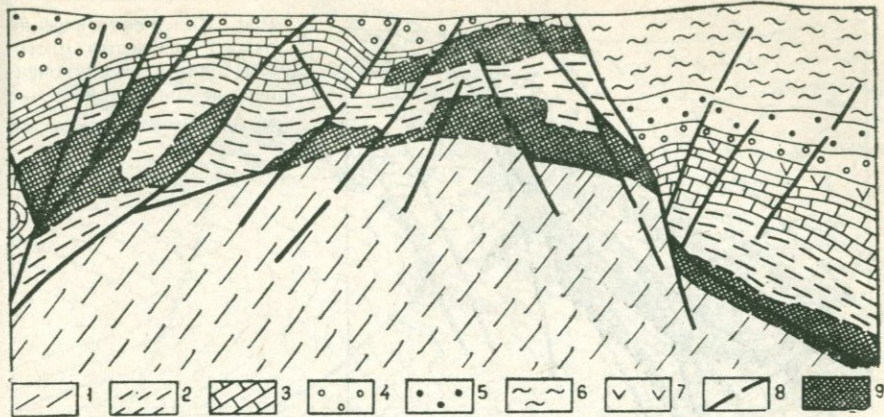


Рис. 29. Геологический разрез уранового месторождения, приуроченного к горст-антиклинали и разрывным нарушениям.

1 — глинисто-сланцевые сланцы; 2 — углеродисто-кремнистые сланцы; 3 — известняки; 4 — углеродисто-глинистые сланцы; 5 — известняки и известкостые сланцы; 6 — глинистые сланцы; 7 — диабазы; 8 — разрывные нарушения; 9 — рудные тела.

силура на участке месторождений сорван и залечен кварцевыми жилами с пиритом.

Складчатые структуры и надвиги пересекаются более молодыми (постскладчатыми) крутопадающими нарушениями северо-западного, северо-восточного и близмеридионального простираний. По характеру перемещений это сбросы, сбросо-сдвиги, реже взбросы с небольшими амплитудами. С этими разрывными нарушениями связано формирование в орогенный и платформенный этапы развития горстов и грабен. Рудные тела размещаются преимущественно в антиклинальных частях складок, осложненных разрывными нарушениями (рис. 29). Основное промышленное значение имеют рудные залежи, локализованные в трех нижних горизонтах (глинисто-сланцевые сланцы ордовика, углеродистые сланцы и известняки силура). Оруденелыми являются также силлы и дайки диабазов, залегающие в нижнем горизонте углеродисто-кремнистых сланцев. По данным Р. В. Гецевой и А. А. Дерягина [1963], рудные тела в глинисто-сланцевых сланцах ордовика, равно как и в диабазах, залегают в участках, где контактирующие с ними углеродистые сланцы силура безрудны. Оруденение в ордовикских сланцах прослеживается, как правило, на несколько десятков метров вниз от подошвы перекрывающих их черных сланцев силура и контролируется участками сорванного контакта между ними.

Основные промышленные рудные залежи размещаются в интенсивно трещиноватых углеродисто-кремнистых сланцах силура, содержащих сульфиды. Реже оруденение встречается в известкостых сланцах и известняках силура; характерно большое разнообразие морфологических типов рудных тел. Кроме главных

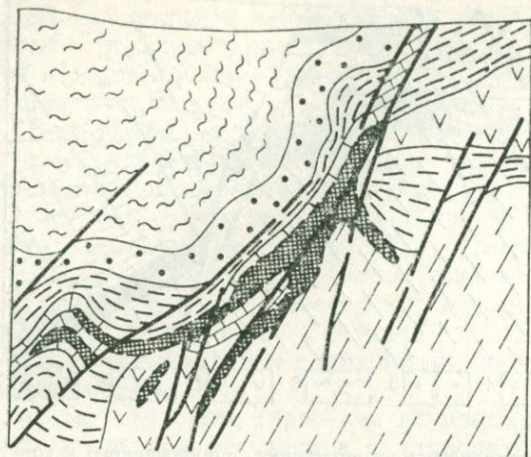


Рис. 30. Геологический разрез уранового месторождения, приуроченного к зоне разлома.

Условные обозначения см. на рис. 29.

пласто- и линзообразных тел отмечаются кососекущие стратиформные и секущие жиллообразные тела (рис. 30). Последние встречаются главным образом на нижних горизонтах месторождений.

Особенностью рассматриваемых месторождений является тонковкрапленный, мелкопрожилковый метасоматический характер оруденения, представленного настураном или остаточными чернями. Более богатые жиллообразные рудные тела встречаются реже, они прожилково-вкрапленные или брекчиевые и кроме настурана содержат сульфиды и арсениды.

Минералогические исследования [Глаголев Н. А., 1980] показали, что оруденение характеризуется двумя минеральными типами: гидротермальным настуран-карбонатным и более поздним настуран-пиритовым.

Первый тип — маломощные карбонатные жилы с настуран-коффинит-сульфидной ассоциацией. Карбонат представлен доломитом, анкеритом, реже сидеритом. Указанные жилы пересекают метаморфогенные кварцевые жилы. Н. А. Глаголев выделяет настуран-кальцитовые жилы с ранним скаленоэдрическим кальцитом и более поздние настуран-коффинит-анкеритовые жилы. Для них характерно крестификационно-симметричное зональное строение с последовательно нарастающими зонами карбоната, гематита, настурана, подобными описанным Ю. М. Дымковым [1960] для типичных жильных гидротермальных месторождений.

Второй тип оруденения, составляющий основную массу промышленных руд, распространен во всех горизонтах продуктивной толщи. Он характеризуется вкрапленно-микропрожилковыми выделениями настурана размером до первых миллиметров. Оруденение контролируется мельчайшими трещинками, структурно-текстурными особенностями пород, глинисто-пиритовыми конкрециями, метакристаллами пирита и сгустками органического вещества. Для руд характерно отсутствие сопутствующих жильных

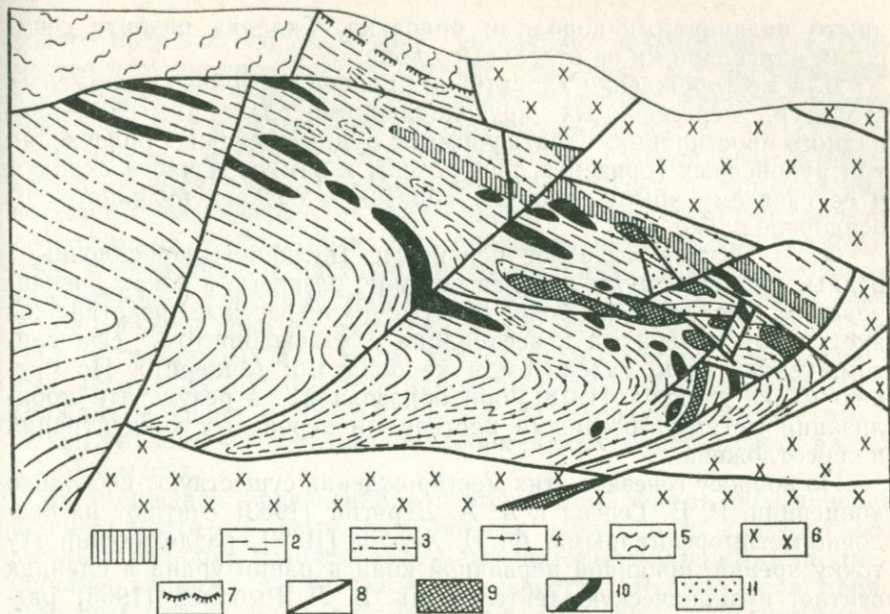


Рис. 31. Схематический геологический разрез уранового месторождения в сланцах (по Ф. И. Жукову [1978]).

1—4 — отложения силура: 1 — филлитовидные сланцы, 2 — углеродистые сланцы; 3 — углеродистые сланцы с прослойками карбонатов, 4 — кварц-плагиопорфириты; 5 — отложения мезозоя; 6 — сенинты; 7 — надвиги; 8 — разрывные нарушения; 9 — зоны брекчирования; 10—11 — рудные тела: 10 — первичных вкрапленных руд, 11 — руд в зонах брекчирования.

минералов, их химический состав практически неотличим от рудовмещающих пород. Н. А. Глаголев [1980] подчеркивает тесную связь оруденения с процессами древнего (допермского) гипергенеза, проявляющегося в гидрогематитизации пород. Оруденение локализовано вдоль фронта гидрогематитизации, распространяясь внутрь неизмененных пород с постепенным снижением концентраций урана. Характерно, что на границе гидрогематитизированных и неизмененных пород расположена зона обеления, связанная с окислением органики.

Ф. И. Жуков [1978] описывает месторождение, локализованное в черных сланцах силура в экзоконтакте сенинтового массива вариссийского возраста. В разрезе силурийских пород выделяются: нижняя пачка углеродисто-глинистых сланцев с линзами известняков, средняя пачка углеродисто-глинистых сланцев с прослойками эффузивов среднего состава и верхняя пачка филлитовидных сланцев. Черные сланцы силура содержат, как и в ранее описанном регионе, повышенные против кларка концентрации урана, ванадия, свинца, цинка, меди, мышьяка, никеля и других элементов.

Рудовмещающие силурийские черные сланцы на участке месторождения слагают узкую лежащую складку, опрокинутую на юг (рис. 31). Лежачее ее крыло залегает на сенинтах, а висячее пере-

крыто надвинутыми породами ордовика. Складка разбита секущими нарушениями на отдельные блоки.

Для месторождения характерно наличие послонных разрывных структур, пересекаемых крутопадающими разломами северо-западного простирания. Стратиформные рудные залежи, образующие три рудоносных горизонта, приурочены к замковой части складки и ее висячему крылу, главным образом к средней вулканогенно-осадочной пачке.

Ф. И. Жуков выделяет первичные (вулканогенно-осадочные) бедные слонстые руды и более поздние, развитые в зонах брекчирования. Последние наиболее богатые и контрастные представлены настураном и чернями в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом, теннантитом, галенитом и карбонатами (анкерит). По мнению Ф. И. Жукова [1978], они образовались в результате мобилизации метаморфогенными растворами первичных концентраций и переотложения.

По вопросу генезиса этих месторождений существуют несколько концепций. Р. В. Гецева и А. А. Дерягин [1963] считают их осадочно-метаморфогенными. Ф. И. Жуков [1978], разделяющий эту точку зрения, причиной первичной концентрации урана в сланцах считает вулканическую деятельность. Б. Л. Рыбалов [1965] рассматривает их как гидротермальные. В последнее время [Глаголев Н. А., 1980; Лаверов Н. П., 1977, и др.] развиваются представления о полигенном и полихронном происхождении этих месторождений, допускающие формирование оруденения за счет ранних гидротермальных руд в процессе древнего вторичного гипергенного обогащения. В то же время многие исследователи считают, что источником урана служили углеродистые сланцы, сингенетично обогащенные ураном и другими элементами.

5.11. Инфильтрационные урановые месторождения

Среди разнообразных инфильтрационных концентраций урана практический интерес в районах развития черносланцевых толщ имеет настурановое и уранослюдковое оруденение. При этом настурановая минерализация по многим признакам является весьма сходной с настуран-пиритовым оруденением описанных выше стратиформных месторождений урана. На одном из участков ураноносные углеродистые сланцы приурочены к раннепалеозойской слабометаморфизованной толще с миогеосинклинальным типом разреза. Они образуют продуктивную ураноносную свиту мощностью 400—500 м.

Месторождение расположено на склоне крупного поднятия, в зоне сочленения с окружающими его депрессиями. Поднятие сложено дислоцированными и метаморфогенными докембрийскими и палеозойскими осадочными и вулканогенно-осадочными толщами и разнообразными по составу интрузивными образованиями. С ме-

лового времени оно испытывает устойчивую тенденцию к воздыманию и является областью питания подземных вод окружающих депрессионных структур. В пределах поднятия широким развитием пользуются ураноносные углеродистые сланцы.

В районе месторождения ураноносные углеродистые сланцы перекрываются платформенным чехлом меловых и палеогеновых песков и глин. Поверхность палеозойского складчатого фундамента находится на глубине 80 м. Под платформенным чехлом сохранилась погребенная и частично эродированная триас-раннеюрская каолинистая кора выветривания. Месторождение расположено в обводненной зоне на пути движения регионального стока подземных трещинных вод. Воды кислородные, слабominерализованные, хлоридные и сульфатно-гидрокарбонатные, нейтральные, с содержанием урана $n(10^{-5} \div 10^{-4})$ г/л. В гидродинамическом отношении это зона затрудненного водообмена со скоростью фильтрации 0,1—0,6 м/сут.

Размещение оруденения контролируется зонами повышенной проницаемости в шарнирных частях и на полого наклоненных крыльях складок, усложненных межпластовыми подвижками, трещинами кливажа и пластовой отдельности. Рудные тела представлены гнездами и линзовидными залежами, приуроченными к пачкам переслаивания ураноносных углеродистых и углеродисто-кремнистых пород с филлитовидными углеродистыми и серицит-хлоритовыми сланцами. Урановая минерализация встречается по периферии и внутри останцов слабыветрелых углеродистых сланцев. Основными рудными минералами являются настуран и регенерированные урановые черни. Настуран выполняет тонкие секущие трещинки, образует мономинеральные желвачки, окруженные двориками осветления, и встречается в сростании с пиритом и кальцитом — эпигенетические концентрически-зональные конкреции. В ассоциации с настураном отмечаются радиально-лучистые сростки марказита, гипс и стронций, содержащий барит.

По радиологическим данным образование настурана происходило в плиоценовое время (10—20 млн. лет). Уран приносился подземными трещинными водами. Обогащение вод ураном происходило в результате выщелачивания урана из углеродистых сланцев, широко распространенных в области питания и на путях миграции подземного стока. Накопление урана осуществлялось на восстановительном барьере в условиях зоны затрудненного водообмена и медленной фильтрации слабонасыщенных кислородом сульфатно-гидрокарбонатных вод. Возникновение восстановительной обстановки по периферии и внутри останцов слабыветрелых сланцев, скорее всего, было обусловлено деятельностью сульфатредуцирующих бактерий.

Район уранослюдковых месторождений располагается в краевой активизированной части эпипалеозойской платформенной области, вблизи сочленения ее с неоген-четвертичным орогенным поясом. По типу палеозойских складчатых и разрывных структур, проявлению метаморфизма, магматизма, литологическим и мине-

ралоге-геохимическим особенностям черносланцевая толща во многом напоминает вышеохарактеризованные области распространения ураноносных углеродистых сланцев. Своеобразие района, определившее образование уранослюдковых руд, в значительной мере было обусловлено спецификой постпалеозойского развития: интенсивностью раннемезозойского корообразования, проявлением неоген-четвертичной орогенной активизации и гидрогеологическими обстановками, существовавшими в недавнее время. Месторождения расположены в пределах плиоценового горстового поднятия палеозойского складчатого фундамента. Поднятие сложено метаморфизованными породами $PR_3(?) - PZ_1$ вулканогенно-осадочной толщи, гранитоидами и жильными дериватами активизационного позднепалеозойского (255—270 млн. лет) интрузивного комплекса ($\gamma_r C_3$).

Вулканогенно-осадочная толща состоит из трех согласно залегающих свит. Нижняя свита (500 м) сложена зеленокаменно-измененными вулканитами, чередующимися с пачками и горизонтами карбонатных пород, серых серицитовых и черных углеродистых сланцев. Вулканыты представлены диабазовыми порфиритами, метагаббро-диабазами и туфами основного состава. Среднюю свиту (600—800 м) образуют углеродисто-кремнистые породы и филлитовидные углеродистые сланцы с прослоями и пачками битуминозных доломитов и известняков. В нижней части свиты встречаются единичные горизонты порфиридов и туфы среднего состава, карбонатсодержащие углеродистые сланцы, тонкозернистые песчаники и линзовидные залежи баритовых пород. В верхней части свиты залегают рассланцованные алевролиты с подчиненными слоями песчаников и углеродисто-кремнистых пород. Ураноносные отложения, представленные филлитовидными углеродистыми сланцами, углеродисто-кремнистыми и редко углеродисто-фосфатными породами, сосредоточены главным образом в средней и нижней свитах. Верхняя свита (1000—1200 м) сложена зеленовато-серыми, реже черными песчаниками, алевролитами и хлорит-серицитовыми сланцами с редкими прослоями и линзами гравелитов, кремнистых аргиллитов и туффитов.

Месторождение располагается в шарнирной части синклиальной складки с крутонаклонными крыльями и сравнительно широким днищем с пологим залеганием пластов. Разрывные нарушения представлены чешуйчатым надвигом и серий секущих его сбросов. По надвигу ураноносные углеродистые сланцы надвинуты на вулканиты основного состава (рис. 32). Среди рудовмещающих пород встречаются секущие и послойные кварцевые и кварц-полевошпатовые жилы и прожилки, а также гнездовидные участки гидротермально-измененных пород (прокварцевание, сульфидизация и слюдизация). На месторождении сохранились раннемезозойская площадная каолинитовая кора выветривания с глубиной распространения до 80—90 м и неоген-четвертичная окислительная зона, прослеженная до 120—130 м. Современный уровень подземных трещинных вод находится на глубине около 150 м. Воды

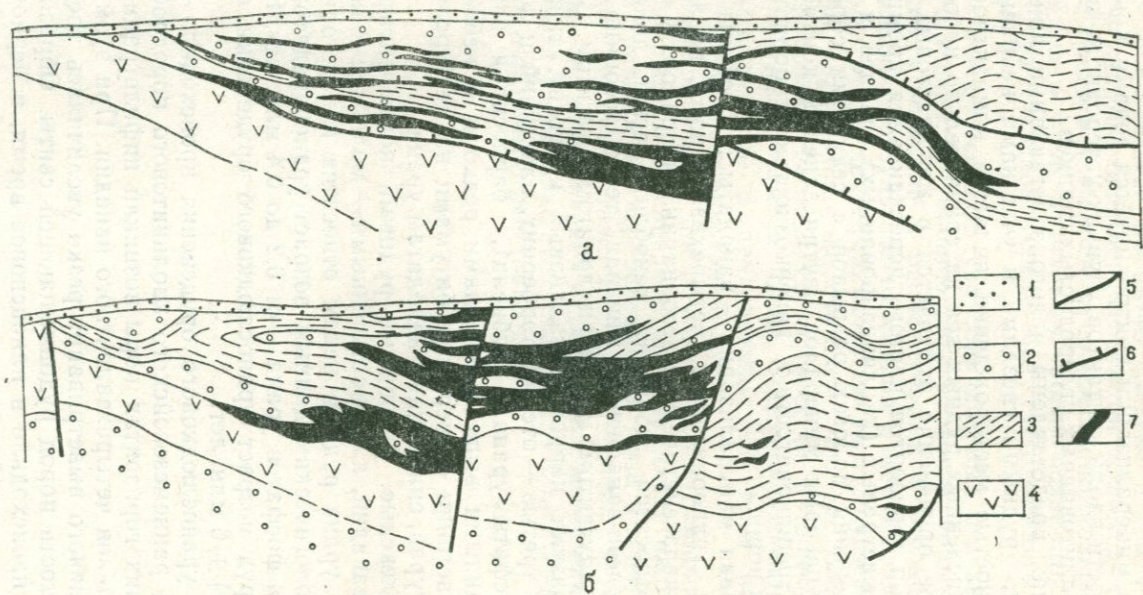


Рис. 32. Особенности залегания уранослюдковых руд.

Разрезы: а — продольный, б — поперечный; 1 — четвертичные отложения; 2—4 — вулканогенно-осадочная толща (PR₃—PZ₁); 2 — ураносные углеродисто-кремнистые породы, 3 — филлитовидные углеродистые сланцы, 4 — зеленокаменно-измененные вулканыты; 5 — сбросы; 6 — надвиги; 7 — рудные залежи.

слабоминерализованные, сероводородные, сульфатно-гидрокарбонатные.

Уранослюдковая минерализация локализована в пачке переслаивания углеродисто-кремнистых пород и филлитовидных углеродистых сланцев, слагающих надвинутый блок. Размещение уранослюдковой минерализации контролируется зонами повышенной трещиноватости вдоль контактов хрупких углеродисто-кремнистых пород и филлитовидных углеродистых сланцев.

Рудные тела представлены полого залегающими линзовидными залежами, рудными гнездами и участками неправильной формы. Особенностью месторождения является компактное размещение многочисленных рудных тел на сравнительно небольшой площади. Бедное оруденение отмечается в межпластовых зонах дробления внутри горизонтов частого переслаивания кремнистых пород и сильновыветрелых (каолинизированных) сланцев, а также в местах сочленения пологих разрывов с секущими сбросами. Распределение урановых минералов внутри залежей контролировалось мелкой трещиноватостью, кавернозностью и пористостью рудовмещающих пород.

Уранослюдковая минерализация — ванадаты и фосфаты урана в сочетании с гидроокислами четырехвалентного ванадия — объединяет три парагенетические ассоциации минералов. К наиболее ранней относятся корвусит, ленолит, хеггит, долоресит и аморфный железо-ванадиевый минерал, тесно ассоциирующие с каолинитом, галлуазитом, монтмориллонитом и гетитом. Вторую ассоциацию образуют карнотит, таллиевый карнотит, тюямунит и фольбортит, а третью — отенит, торбернит, алюминий и железосодержащие фосфаты урана, шубнелит, барнесит и ваналит. Наряду с указанными выше минералами редко и в небольшом количестве в сростании с твердыми битумами на месторождении встречается настуран, синхронный ванадатам урана.

Руды — комплексные. Основными рудными компонентами являются уран и ванадий, а второстепенными — молибден и никель. По содержанию урана руды в целом относятся к категории рядовых. По радиологическим данным возраст уранованадатов от 5 до 12 млн. лет, а фосфатов урана — от 0,2 до 0,4 млн. лет. По валовым пробам руд возраст уранослюдкового оруденения оценивается в $(10-20) \pm 6$ млн. лет.

Образование уранослюдкового оруденения происходило в два этапа. В период раннемезозойского каолинитового породообразования в нижних горизонтах коры возникли инфильтрационные скопления минералов четырехвалентного ванадия. При этом в результате интенсивного выветривания резко увеличилась трещиноватость и пористость пород рудовмещающей свиты. Образование уранованадатов происходило в плиоценовое время, в период преобразования коры, в результате деятельности подземных трещинных вод. Уран приносился кислородными, скорее всего сульфатно-гидрокарбонатными водами, а ванадий заимствовался на месте из ранее возникших инфильтрационных концентраций гидроокис-

лов четырехвалентного ванадия. Накопление урана осуществлялось в окислительной обстановке «на ванадиевом барьере» в виде уранованадатов. Незначительная часть урана осаждалась в форме настурана вследствие восстановления твердыми битуминами. Образование фосфатов уранила и ванадиевых минералов третьей парагенетической ассоциации происходило в раннечетвертичное время в результате преобразования уранованадатовых руд, скорее всего после понижения уровня подземных трещинных вод, в воздушно-водной среде без существенного выщелачивания урана.

По поводу генезиса уранованадатовых руд высказаны и иные представления. По мнению ряда геологов, уранослюдковая минерализация возникла в раннемезозойской каолинитовой коре выветривания в результате окисления ранее существовавших настурановых руд гидротермального генезиса. Другие признают молодой возраст оруденения, но считают, что оно было сформировано восходящими термальными растворами, которые приносили четырехвалентный уран в виде щелочно-сульфидных комплексов и осаждали его в приповерхностной зоне, на окислительном барьере, в форме уранованадатов.

Благоприятными для поисков инфильтрационной настурановой и уранослюдковой минерализации являются площади распространения ураноносных черносланцевых толщ в зонах орогенной активизации, которые характеризуются наличием интенсивно проработанных кор выветривания и длительное время находились на путях движения регионального стока между областями питания и разгрузки подземных трещинных вод.

ГЛАВНЕЙШИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЧЕХЛЕ ДРЕВНИХ И МОЛОДЫХ ПЛАТФОРМ И НАЛОЖЕННЫХ ДЕПРЕССИЯХ

6.1. Урановые месторождения в угленосных молассоидных отложениях

Месторождения урана встречаются среди угленосных формаций всех эпох. Уран на месторождениях концентрируется в углях, во вмещающих их терригенных породах, а также за пределами собственно угольных бассейнов, среди песчаных и песчано-глинистых пород, содержащих рассеянное углистое вещество. Происхождение уран-угольных месторождений трактуется неоднозначно. Одними исследователями они рассматриваются как эпигенетические [Некрасова З. А., 1957; Вайн Дж., 1958; Батурин С. Г., Головин Е. А., Зеленова О. И. и др., 1965], другие главную роль в их формировании отводят сингенетическим процессам [Семенов А. И., 1959]. Существовали мнения о полигенности ряда уран-угольных месторождений [Альтгаузен М. Н., 1966; Ковалев А. А., 1970], а также представления, не исключающие влияния эндогенных процессов [Островская Г. Я., 1970; Данчев В. И., Стрелянов Н. П., 1973].

В основу предлагаемой типизации уран-угольных формаций положены генетические классификации угленосных формаций Г. Ф. Крашенинникова [1957] и Г. А. Иванова [1959], базирующиеся на геотектоническом принципе, позволяющем учесть не только процессы преобразования органического вещества и урана на стадии углеобразования, но также вторичные процессы (метаморфизм, тектонику, магматизм), ведущие к последующим изменениям горных пород и новообразованиям минералов, в том числе урановых.

Различия геотектонического режима формирования выделенных типов уран-угольных формаций, а также климатических особенностей предшествующих и последующих эпох обуславливают разную интенсивность развития рудообразующих процессов на тех или иных стадиях рудогенеза. Источниками урана в основном являются разрушаемые урансодержащие породы (преимущественно коры выветривания по гранитоидам и их аналогам, эффузивам кислого ряда, частично древние месторождения урана и т. д.), возможно гидротермы поствулканических процессов.

В соответствии с особенностями геолого-технического и палеоклиматического развития среди урановых месторождений в угленосных отложениях могут быть выделены экзодиагенетические, эпигенетические (инфильтрационные) и полигенные.

Экзодиагенетические месторождения. Такие месторождения формируются на стадии диагенеза осадков, когда диагенетические и эпигенетические процессы сближены во времени и пространстве, а рудообразование вызвано деятельностью кислородсодержащих грунтовых вод. Экзодиагенетические месторождения возникают в бассейнах с эксфильтрационным типом гидродинамического режима водонапорных систем, которым свойственно в силу затрудненного водообмена широкое распространение восстановительной обстановки. Такие ситуации на устойчивых платформах возникают в палеодолинах и мелких эрозионных впадинах, преимущественно в краевых зонах, на поднятиях или склонах, на площадях с равнинным или предгорным ландшафтом. В молодых активизированных платформах это прибортовые части приразломных депрессий, формировавшиеся на фоне значительных региональных поднятий; характерными ландшафтами здесь являются межгорные впадины и переходные к равнинам зоны.

Повышенные концентрации урана приурочены к низам разреза трансгрессивных угленосных серий. Урансодержащими являются глины, реже песчаники, иногда гравелиты и конгломераты, обогащенные органическим веществом. Форма рудных тел пластовая или линзовидная, с довольно сложной конфигурацией в плане. Помимо урана отмечаются повышенные содержания Mo, V, Be, Ge, Zn, Pb, иногда As, W, Sn и др. Наиболее благоприятными для рудоотложения на устойчивых платформах являются аллювиально-болотные и озерно-болотные фации, реже отложения краевых частей приморских болот; на молодых активизированных платформах — аллювиальные и пролювиальные, а также озерно-болотные фации.

Примером подобного фациального контроля оруденения урана в современных условиях являются лентообразные урановорудные тела в краевых частях низинных торфяников [Коченов А. В., Зиновьев В. В., 1965; Лопаткина А. П., 1967], тяготеющие к зонам сочленения песчаных и глинистых отложений в основании разреза. В областях устойчивых платформ они размещаются на внешнем краю пойменных и русловых фаций на контакте с пролювиальными, на внутреннем краю пойменных фаций — вблизи границы с русловыми осадками. В областях активизированных платформ урановое оруденение локализовано в русловом аллювии вблизи выклинивания пролювиальных фаций, нередко вблизи внутренних поднятий или в зонах сочленения аллювиальных и пойменно-старичных (болотных) фаций.

Основную роль в формировании руд среди современных торфяников играют воды русловых фаций аллювиального комплекса. Кроме того, уран привносился подземными (грунтовыми) водами, которые циркулировали в корях выветривания и разгружались

в бортах впадин. Аккумуляция урана в торфяных залежах на современном этапе чаще всего наблюдается в лесостепной зоне, где сохраняется заметная заторфованность, а фоновое содержание урана в грунтовых водах, не менее $(2 \div 5) \cdot 10^{-6}$ г/л, обеспечивает накопление руд. Обычными элементами-спутниками являются Си, Рb, Zn, Мо, Мп. Уран обогащает торфяную залежь в местах наиболее интенсивного минерального питания: вблизи подошвы со стороны коренного склона долины, в углублениях рельефа подошвы залежей и т. п. Содержание урана в рудах 0,03—0,06%, редко выше (до 1%); в неразложившихся торфах обычно не превышает 0,003%.

Воды торфяной залежи и вмещающих пород пресные ($M_{\text{общ}} = 0,3 \div 0,7$ г/л), гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные, преимущественно кальциевые, со значительной долей магния и натрия. Воды, питающие торфяник, отличаются высокими положительными значениями окислительного потенциала (260—440 мВ), слабощелочной средой ($\text{pH} = 7,6 \div 7,8$), наличием растворенного кислорода (первые миллиграммы на литр) и высокими содержаниями урана — $(1 \div 5) \cdot 10^{-5}$ г/л. Уран в них находится в истинно растворенном состоянии в виде отрицательно заряженных уранил-карбонатных комплексов. В толще рудоносного торфа урановых минералов не обнаружено, здесь присутствуют коллоидные и уран-органические формы (последняя чаще). Основной причиной восстановления и осаждения урана из подземных вод, фильтрующихся в торфе, можно считать биохимическое окисление органического вещества.

Примерами древних экзодиагенетических аккумуляций урана среди угленосных отложений в какой-то мере являются месторождения в палеоген-неогеновых толщах на эпипалеозойской платформе [Данчев В. И. и др., 1973 г.], группа месторождений среди песчано-глинистых ураноносных толщ карбона на древней устойчивой платформе и ряд др.

Эпигенетические месторождения. Опыт изучения эпигенетических уран-угольных месторождений показывает, что вмещающие их угленосные толщи не содержали исходно повышенных концентраций урана. Уран и сопутствующие ему элементы, заключенные в углях и других углистых отложениях, привнесены в уже сформировавшиеся породы. Концентрации урана четко контролируются зонами эпигенетических окислительных изменений сероцветных пород и в этом отношении могут рассматриваться в качестве аналогов широко развитого типа урановых месторождений в песчаниках, связанных с зонами пластового окисления. В отличие от последних на уран-угольных месторождениях оруденение часто развивается в связи с зонами грунтового окисления и является, таким образом, древнеэпигенетическим. Указанные отличия связаны со спецификой состава и строения угленосных отложений, а также с историко-геологическими особенностями районов их развития. Поэтому данные месторождения могут быть отнесены к типу древнего эпигенетического пластово-грунтового окисления.

Эпигенетические уран-угольные месторождения размещаются в раннемезозойских депрессионных структурах различных размеров и формы, заполненных угленосными молассами мощностью в первые сотни метров. Эти структуры располагаются в областях крупных сводовых поднятий. Они развиваются на гетерогенном мезозойском основании обычно вдоль систем долгоживущих глубинных разломов, активизированных в раннем мезозое (наложенные «рифтообразные» прогибы), либо на участках позднепалеозойских опусканий (унаследованные впадины) и несогласно перекрываются позднемезозойскими и кайнозойскими отложениями, развитыми на более широкой площади. Предполагается, что эпигенетическое урановое рудообразование происходило в основном до перекрытия угленосных депрессий более молодыми образованиями.

Ураноносные депрессии выполнены ритмично построенной толщей терригенных пород с внутриформационными размывами и перерывами. Это определяет резкую гетерогенность слоистой среды и проявление одного из важнейших факторов эпигенетического рудообразования в угленосных толщах — контактирование проницаемых отложений с пластами углей. Важной особенностью строения рудовмещающих отложений, существенно влияющей на развитие рудоформирующих процессов, является последовательное расширение площади седиментации во времени с «трансгрессивным» налеганием более молодых слоев (в том числе пластов углей) на породы фундамента в периферических частях депрессий. Этим создаются благоприятные условия для развития уранового оруденения на границе зон грунтового окисления, накладывающегося на верхние пласты углей. Необходимым условием для развития инфильтрационного рудогенеза является слабая дорудная литификация отложений, буроугольная степень метаморфизма органического вещества и незначительное проявление дорудных тектонических деформаций.

Дорудные эпигенетические изменения пород на некоторых месторождениях представлены огипсованием, выраженным в развитии сплошных масс по отдельным проницаемым слоям и отдельным прожилков по пластам углей, глин и пород фундамента. Более локально проявлена карбонатизация, иногда совмещающаяся с огипсованием.

Ураноносность границ зон грунтового и пластового окисления неравноценна, что зависит от строения депрессионных структур в период рудообразования. Спецификой крупных уран-угольных месторождений является повышенная рудоносность зон грунтового окисления при наложении их на субгоризонтально залегающие верхние пласты углей. Наблюдающийся в таких случаях практически повсеместно контакт зоны грунтового окисления с верхним пластом угля обуславливает площадное рудообразование в его висячем боку. При наклонном ($3-5^\circ$) залегании слоев на крыльях депрессионных структур появляется «угловое несогласие» между субгоризонтальной границей грунтового окисления и наслоением

пород, что вызывает сокращение площади рудообразования в отдельных угольных пластах и последовательное перемещение зон оруденения на более высокие горизонты по падению слоев.

Рудоконтролирующие зоны грунтового и пластового окисления обычно имеют сложное строение. Две основные подзоны — красноцветная (тыловая) и желтоцветная (передовая) — отражают общую стадийность развития процесса. Иногда во фронтальной части зоны окисления проявлена подзона обеления, отделяющая зону оруденения от окисленных пород.

Рудные залежи локализованы на границах зон грунтового и пластового окисления, наложенных на угли и на избилующие органическим веществом глины, алевролиты, песчаники. При сложном строении зон окисления оруденение локализуется на границах передовых подзон, выраженных желтоцветными окислами железа, либо на границах вторичного восстановления (обеления) пород.

Наиболее крупные рудные залежи локализованы в висячем боку субгоризонтально залегающих угольных пластов на границе зоны грунтового окисления. Они являются весьма протяженными, округло-удлиненными в плане и пластово-линзовидными в разрезе. Положение и размеры рудных залежей в целом контролируются полями развития наиболее проницаемых окисленных надугольных галечно-песчаных отложений. Лучшие по качеству рудные тела залегают вдоль участков понижений кровли угольного пласта, характеризовавшихся наиболее интенсивным водообменом («струи»). Вдоль выклинивания угольных пластов в полосе шириной до 100—200 м оруденение иногда захватывает всю их мощность («мешковое оруденение»), местами развиваясь и у подошвы углей. В случае экранирования угольных пластов глинами оруденение проявлено слабо, возникая лишь на участках «вторичной проницаемости» через эрозионные и тектонические окна.

В зонах пластового окисления оруденение характеризуется меньшей выдержанностью и более сложной морфологией, что связано со сложным литолого-фациальным строением угленосных толщ и неравномерным распределением пород, богатых органическим веществом. Пластово-линзовидные залежи возникают в подошве и кровле зон окисления на контактах с углями и другими породами, «мешковые» — на выклинивании угольных пластов среди песчаников, ролловые — на выклинивании зон пластового окисления в равномерно обогащенных органикой песчаниках. Оруденение на уран-угольных месторождениях может иметь многоярусный характер, что связано со строением угленосных толщ, количеством угольных пластов и проницаемых горизонтов.

В рудоносных зонах окисления установлен комплекс эпигенетических минеральных новообразований, создающий наложенную минералого-геохимическую зональность — вертикальную в зонах грунтового окисления и горизонтальную в зонах пластового окисления.

В песчаниках эта зональность проявлена в развитии зоны неизмененных безрудных сероцветных пород с диагенетическими

сульфидами железа и местами эпигенетическими проявлениями гипса и карбоната; зоны рудоносных неокисленных песчаников с подзонами рассеяния и концентрации урана (в виде окислов и коффинита), селена, и молибдена, а также эпигенетическими дисульфидами железа и иногда карбонатами; зоны окисленных пород с подзонами желтоцветных и красноцветных окислов железа и иногда эпигенетическими карбонатами.

В углях это зона неизменных безрудных углей с диагенетическими дисульфидами железа, иногда эпигенетическим гипсом, выполняющим систему мелких трещин; зона рудоносных неокисленных и слабоокисленных углей (0,1—2,5 м) с подзонами рассеяния и с урановой минерализацией, представленной окислами (настуран, черни), коффинитом, тонковкрапленными или дисперсными выделениями, прожилками, примазками по плоскостям наложения в парагенезисе со скоплениями селена, молибдена, рения, германия, серебра, кобальта и др., а также эпигенетическими пиритом, марказитом и иногда карбонатами; зона сильноокисленных, слабо-рудоносных углей (0,1—1,8 м) с окислами железа.

Отсутствие повышенных концентраций радиогенного свинца (^{206}Pb) в породах и радиационных дефектов в кварцах из относительно тыловых частей зон окисления, выраженных красноцветными изменениями пород, дает основание предполагать, что существенных концентраций урана на ранних стадиях формирования зон грунтового и пластового окисления не происходило. По-видимому, основная масса урана и сопутствующих ему элементов накапливалась в связи с поздними стадиями окислительного эпигенеза. Следовательно, длительность рудообразования на данных месторождениях не соизмерима с общей продолжительностью развития древних зон окисления, достигающей 100—110 млн. лет. Вероятно, рудогенез связан с более кратковременными всплесками тектонических движений в эпоху длительного перерыва. Радиологические данные показывают, что время протекания рудного процесса в основном соответствует возрасту перекрывающих суборогенных красноцветных формаций, накапливающихся в условиях малоамплитудной тектонической дифференциации и аридного (семиаридного) климата. Это дает основание считать ответственными за образование уранового оруденения процессы тектонической активизации, непосредственно предшествовавшие таким формациям и обуславливающие их проявление. Перекрывание рудоносных пород слабопроницаемыми отложениями красноцветных формаций обеспечивает сохранность уже сформированного оруденения от последующих процессов разрушения. Поэтому перекрывающие отложения приобретают определенное «консервирующее» значение, подчеркиваемое в отдельных депрессионных структурах современной восстановительной обстановкой подземных вод.

Таким образом, основными геологическими предпосылками формирования эпигенетических уран-угольных месторождений в раннемезозойских депрессионных структурах являются:

— наличие ритмично построенных, слаболитифицированных и

почти недислоцированных угленосных толщ, в которых контактируют проницаемые отложения и выдержанные пласты бурых углей;

— длительный перерыв в осадконакоплении после образования рудовмещающих формаций в условиях аридного и семиаридного климата в сочетании со вспышками тектонической активности, что оживляло динамику инфильтрационных вод;

— широкое развитие в угленосных толщах эпигенетических окислительных изменений пород.

Главным фактором рудообразования является наложение рудоформирующих зон окисления на породы, богатые органическим веществом, главным образом на пласты бурых углей. Наличие пород с высокими восстановительными свойствами определяет возможность формирования оруденения из слабоураносных растворов, что допускает вероятность развития процессов эпигенетического рудообразования в районах, где в области питания инфильтрационных вод отсутствуют обогащенные ураном породы. Реализация рудного процесса из слабоконцентрированных растворов обеспечивается интенсивностью и сравнительной длительностью (многие миллионы лет) проявления инфильтрационного окислительного режима вод, а также, вероятно, его многоэтапностью, приводившей к наращиванию рудной массы в углях и углистых породах.

Наиболее общим геологическим выражением проявления благоприятных геологических предпосылок формирования уран-угольных месторождений является следующий формационный разрез рудных районов (снизу вверх): континентальные угленосные молассовые (молассоидные) слаболитифицированные сероцветные формации — длительный континентальный перерыв с аридными и семиаридными климатическими условиями — красноцветные (пестроцветные) молассоидные формации, синхронные с рудообразующим эпигенезом, — другие континентальные формации.

Комплексный анализ геологических обстановок проявления эпигенетических уран-угольных месторождений позволяет сформулировать критерии перспективности угленосных структур на этот тип оруденения:

— депрессионные структуры различного типа и морфологии, характеризующиеся к периоду рудообразования относительно простым внутренним строением и пологим залеганием слоев;

— слабая или умеренная литификация проницаемых терригенных отложений, буроугольная степень метаморфизма органического вещества ко времени рудообразования;

— резко дифференцированный по литологическому составу (ритмичный) разрез угленосных отложений с наличием в контакте с пластами углей проницаемых отложений;

— широкое развитие древних (мезозойских и раннекайнозойских) зон грунтового и пластового окисления;

— наличие в обрамлении угленосных депрессий специализированных на уран магматических и осадочных формаций — концентрированных источников рудного вещества (отсутствие таких фор-

маций не исключает возможность формирования месторождений).

В качестве поисковых признаков уранового оруденения могут быть использованы:

— контакты зон грунтового и пластового окисления с углями и породами, обогащенными углистым веществом; участки развития окисленных, наиболее проницаемых отложений кровли, протяженные мульдо- и желобообразные понижения кровли и узкие полосы вдоль выклинивания угольного пласта на границе зоны грунтового окисления с верхним угольным пластом;

— подошва и кровля зон пластового окисления на контактах с углями и углистыми породами, а также области выклинивания зон пластового окисления в песчаных породах с обильным углистым детритом и зоны выклинивания угольных пластов среди проницаемых песчаных пород;

— проявление в бурых углях и вмещающих их породах вертикальной или горизонтальной рудоконтролирующей окислительной зональности, сопровождающейся повышенными концентрациями селена, молибдена, германия, рения и некоторых других элементов, а также радиоактивными аномалиями.

Полигенные месторождения. Полигенное оруденение характеризуется одновременным присутствием в рудоносном разрезе как более раннего по времени формирования экзодиагенетического оруденения, развитого в основании трансгрессивной серии пород, так и более позднего эпигенетического (инфильтрационного), связанного преимущественно с верхними, реже средними пачками углей и углевмещающих пород. В зонах тектонической активизации, в регионах с активным вулканизмом может присутствовать предположительно гидротермальное урановое оруденение, развивающееся как среди доугленосных вулканогенно-осадочных пород, так и среди угленосных формаций.

Общим условием формирования руд урана в угленосных формациях является наличие источников с повышенными концентрациями урана и благоприятная обстановка для его миграции и осаждения. Одна из них — наличие длительных континентальных перерывов в областях источников при определенном климатическом режиме. Длительность перерывов в пределах платформ способствует постоянству действия источников даже с относительно невысокими концентрациями урана на протяжении больших периодов времени. Для этих условий характерно развитие двух типов оруденения: экзодиагенетического в основании трансгрессивных серий угленосных толщ, которым предшествовал длительный континентальный перерыв, и инфильтрационного в средних и верхних частях угленосных толщ при наличии континентального перерыва после формирования угленосных толщ. Наличие аридного и семиаридного климата во время континентальных перерывов способствовало формированию более богатых руд урана.

В зонах тектонической активизации увеличивается количество выходов размываемых пород, а в рудовмещающих отложениях усиливается водообмен. Последнее способствует увеличению

притока урансодержащих растворов к зонам геохимических барьеров, где уран накапливался в значительном количестве даже при концентрации его в инфильтрационных водах 10^{-6} г/л. В зонах отложения угленосных формаций активизированных платформ возможно присутствие относительно слабовыраженного экзодиагенетического уранового оруденения.

Связь определенных генетических типов месторождений урана с угленосными формациями крупных геоструктурных элементов позволяет более целенаправленно проводить поисково-оценочные работы. Изучение истории геологического развития угленосных формаций и степени метаморфизма органического вещества позволяет прогнозировать уран-угольные месторождения по генетическим типам оруденения на конкретных площадях с возможным ожидаемым масштабом запасов. Так, заранее можно исключить породы угленосных формаций внешних, внутренних и частично передовых прогибов геосинклинальных систем. Среди угленосных формаций платформ, приуроченных к возрастному интервалу от карбона до кайнозоя включительно, можно ожидать выявления экзодиагенетического, инфильтрационного (экзогенного) или полигенного экзодиагенетически-инфильтрационного типов руд урана. Особое внимание следует уделять малоизученным районам, где возможно выявление полигенного оруденения.

Максимального внимания заслуживает изучение угленосных формаций древних и молодых активизированных платформ. Наблюдается присутствие уран-угольных месторождений преимущественно экзогенного (инфильтрационного) и экзодиагенетического типов в краевой субплатформенной части на пологом внешнем крыле, подстилаемом платформенными толщами. Среди них заслуживают внимания наиболее древние по времени образования прогибы, характеризующиеся длительностью развития и медленной скоростью прогибания (преимущественно палеозойские, возможно, мезозойские). В редких случаях развития наземной вулканической, красноцветной и континентальной фаций в регионах развития угленосных формаций этой группы можно ожидать полигенный тип оруденения урана.

6.2. Урановые месторождения в карбонатно-терригенных породах плитных комплексов и наложенных впадин в связи с грунтовым и пластовым окислением

В настоящее время выделяются три типа эпигенетических преобразований пород, обусловленных деятельностью просачивающихся с поверхности кислородсодержащих вод (рис. 33):

1) поверхностное окисление, осуществляемое дождевыми и тальми водами в сфере аэрации, выше постоянного уровня подземных вод;

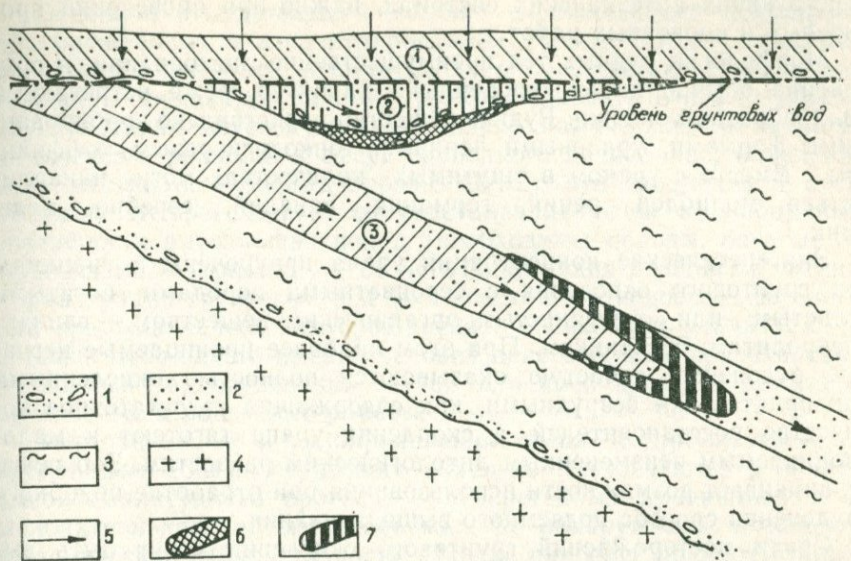


Рис. 33. Схема разграничения зон поверхностного (1), грунтового (2) и пластового (3) окисления и связанных с ними типов уранового оруденения.

1 — гравийно-галечные породы; 2 — пески и песчаники; 3 — глинистые породы; 4 — породы фундамента; 5 — направления движения вод; 6 — урановое оруденение типа грунтового окисления; 7 — урановое оруденение типа пластового окисления.

2) грунтовое окисление, обусловленное деятельностью кислородных вод сферы свободного водообмена — безнапорных или с местным напором;

3) пластовое окисление, развивающееся в водоносных горизонтах артезианских бассейнов в связи с деятельностью кислородных напорных вод сферы затрудненного водообмена.

Рудоконтролирующими являются зоны окислительного эпигенеза* двух последних разновидностей, что определяет разделение экзогенных эпигенетических месторождений в терригенных существенно песчаных породах на два типа: а) грунтового окисления и б) пластового окисления (лимонитизации).

Месторождения грунтового окисления. Месторождения или рудопроявления этого типа самые распространенные в природе. Они представлены, как правило, мелкими объектами с невыдержанным оруденением и низкими концентрациями урана, в связи с чем редко оказываются практически значимыми. Поэтому правильно диагностировать этот тип аккумуляций и отличать его от инфильтрационных рудных скоплений, возникающих в длительно

* Под окислительным эпигенезом понимается комплекс наложенных преобразований пород, сопровождающихся привнесом свободного кислорода; под восстановительным эпигенезом — макроэлементов в восстановительных формах (сульфидная сера, закисное железо, органический углерод и др.).

действующих артезианских системах, важно при проведении прогнозных и оценочных работ.

Морфология рудных тел преимущественно линзовидная, и оруденение обычно имеет «уровенный» характер, реже встречаются роллообразные залежи. Рудное вещество представлено сорбированными формами, урановыми чернями, тонкодисперсным коффинитом. Вместе с ураном в ощутимых количествах могут накапливаться молибден, рений, германий, ванадий, серебро, медь, цинк.

Эпигенетические концентрации урана приурочены к границам зон грунтового окисления с сероцветными породами, богатыми углистым или торфянистым органическим веществом, — глинам, алевролитам, песчаникам. При этом наиболее проницаемые песчаные отложения зачастую оказываются полностью окисленными или практически безрудными, как содержащие недостаточное количество восстановителей, а скопления урана тяготеют к малопроницаемым неизмененным литологическим разностям. Это резко ограничивает возможности использования при отработке подобного оруденения способа подземного выщелачивания.

Среди месторождений грунтового окисления могут быть выделены две разновидности, отличающиеся соотношением возраста руд и рудовмещающих пород [Батурин С. Г. и др., 1965]:

а) месторождения экзодиагенеза, сформированные кислородными грунтовыми водами в проницаемых торфянистых аллювиальных осадках вскоре после их накопления; в этом случае рудоконтролирующая окислительная зональность нередко маскируется более поздними диагенетическими восстановительными преобразованиями;

б) месторождения выветривания, формируемые в проницаемых горизонтах, содержащих восстановители урана, при выводе пород в сферу деятельности кислородных грунтовых потоков.

Обе разновидности месторождений могут быть как молодыми, формирование которых происходит или продолжается в настоящее время, так и древними, возникшими в мезозое или палеозое. Примеры первого случая аккумуляций описаны А. В. Коченовым и С. Д. Расуловой [1971] и другими; второй случай характерен, например, для месторождений Дакоты в США и Вогез во Франции [Батурин С. Г. и др., 1965]. Экзодиагенетические накопления урана свойственны многим континентальным пестроцветным толщам, где аридная обстановка седиментации сочеталась с присутствием в толщах линз и прослоев, богатых органическими растительными остатками. Их представителями, вероятно, являются уран-ванадий-медные месторождения в аллювиальных пестроцветных декона и карбона в Пенсильвании и пермских пестроцветах штата Оклахома в США, в пестроцветах позднепалеозойского возраста в Восточных Альпах, в среднедевонских вулканогенно-осадочных пестроцветных формациях межгорной впадины в области каледонской складчатости [Шиловский П. П., Сидельникова В. Д., 1966; Железняк Н. Н., 1970].

Основной отрицательный момент, сдерживающий формирование масштабных и концентрированных рудных объектов рассматриваемого типа,— это недостаточная в большинстве случаев длительность рудообразующего грунтово-окислительного процесса, обусловленная неустойчивостью гидродинамического и гидрогеохимического режимов в сфере свободного водообмена, определяемого местными базисами эрозии. Оттого эти скопления в очень большой степени зависят от восстанавливающей и сорбционной способности вмещающих пород (необходимы породы, богатые органическим материалом) и от источника урана в области питания и фильтрации грунтовых вод (необходимы ураноносные формации или разрушающиеся месторождения). Только при реализации по крайней мере одного из этих условий целесообразно ориентировать на данный тип оруденения на той или иной площади детальные прогнозные и поисковые работы.

Месторождения и рудопроявления урана, контролируемые современными зонами грунтового окисления, встречаются в области высокоамплитудного орогена, в суборогенных провинциях и на малоактивизированных платформах, не обнаруживая четкой геотектонической избирательности. Однако наиболее предпочтительны для их возникновения условия умеренной тектонической активизации, обеспечивающие проявление относительно энергичной гидродинамики в сфере свободного водообмена при небольшой интенсивности эрозионных процессов. Диапазон ландшафтно-климатических обстановок проявления рудообразующего грунтово-окислительного эпигенеза также достаточно широк. Оруденение рассматриваемого типа формируется во многих ландшафтных поясах, начиная от пустынного и сухостепного и кончая умеренно влажным, т. е. в тех провинциях, где близповерхностные подземные воды обладают окислительными свойствами и способны транспортировать уран. Исключенными здесь являются территории, покрытые сплошным слоем многолетней мерзлоты, таежные районы с избыточным увлажнением и, кроме того, низменные, сплошь заболоченные пространства поясов хвойных, смешанных и лиственных лесов, характеризующиеся развитием восстановительной обстановки на земной поверхности.

В аридных провинциях формирование современных урановых концентраций грунтово-инфильтрационного типа локализовано главным образом в палеодолинах крупных транзитных рек, осадки которых содержат существенные накопления органического вещества. В переходной, степной, и особенно умеренно гумидной зонах распространенность проявлений урана этого типа становится более площадной. Однако в связи с понижением в гумидных провинциях фона ураноносности кислородных грунтовых вод усиливается ее зависимость от местных источников рудного вещества. Последние все чаще начинают связываться с ранее образованными месторождениями и рудопроявлениями иного типа. Существенные скопления урана грунтовой окислительной зональности во влажных климатических поясах могут, таким образом, являться

индикаторами существования в областях питания и циркуляции грунтовых потоков более интересного в практическом отношении первичного оруденения.

Важное значение в комплексе подготовительных и прогнозно-оценочных работ занимает выявление и прослеживание в континентальных осадочных толщах палеорусел, богатых органическим материалом и являющихся вместилищем кислородных ураноносных подземных вод и формируемых ими зон грунтового окисления. Для этих целей могут использоваться методы общей геофизики, применяемые в сочетании с литолого-фациальными, гидрогеологическими исследованиями и рекогносцировочным бурением. Так как древние речные долины закладываются, как правило, по долгоживущим тектонически ослабленным зонам, то существенное значение при их выделении и картировании приобретают обычные геолого-структурные методы, в том числе морфоструктурный анализ.

Особую разновидность урановородных скоплений рассматриваемого типа представляют приповерхностные приразломные (около-трещинные) аккумуляции урана, сложенные урановыми чернями, слюдковой минерализацией (чаще всего уранованадаты) или сорбированными формами, которые возникают в зонах взаимодействия ураноносных кислородных грунтовых вод и восходящих углекислотных (часто содержащих H_2S) хлоридных рассолов. Таким рудопроявлениям свойственны контроль проницаемыми разрывными нарушениями и сложное сочетание изменений окислительного и восстановительного эпигенеза с появлением в пределах полей грунтово-окисленных пород зон эпигенетического ожелезнения (гетитизация или гематитизация), омарганцевания, иногда осернения, огипсования, баритизации и целестинизации, пиритизации, карбонатизации, окремнения и т. д., в отдельных случаях — слабой битуминизации. Подобное оруденение «стыкового» типа, возникшее на приразломных участках в сфере свободного водообмена, описано В. А. Шумлянским [1967] и О. И. Зеленовой с соавторами [1969].

Указанные приразломные рудопроявления урана характерны в целом для нефтегазоносных провинций, располагающихся в аридном климатическом поясе. В силу нестабильности гидродинамической и газогидрогеохимической обстановки в участках указанного стыка эти рудопроявления в большинстве случаев не имеют существенных масштабов, эфемерны и не представляют практической ценности. В качестве их промышленных представителей могут быть названы месторождения Техасской прибрежной равнины в США, контролируемые зонами грунтового окисления на участках поступления восходящих восстановителей (сероводорода, углеводородов) с глубины [Eargle D. H., Dickinson K. A., Davis B. O., 1975].

Региональными предпосылками этого типа оруденения являются следующие: наличие континентальных существенно аллювиальных пестроцветных толщ, сформировавшихся в условиях

аридного или переходного климата и содержащих в своем составе прослой сероцветных пород, богатых органическим веществом (в случае месторождений экзодиогенеза), или сероцветных угленосно-терригенных толщ, находящихся на стадии выветривания в аридной обстановке (в случае месторождений выветривания), а также умеренная тектоническая активизация платформ, характеризующаяся интенсификацией гидродинамического режима в сочетании с относительно слабым развитием эрозионных процессов.

Районные геологические предпосылки таковы: слабая литификация терригенных проницаемых отложений на этапах возможного развития кислородной грунтовой инфильтрации; развитие древней погребенной речной сети палеодолин, выполненных пестроцветными или сероцветными песчаными породами; наличие в складчатом обрамлении или в самой осадочной толще ураносных формаций либо ранее сформированных месторождений урана; широкое проявление в породах древнего или молодого грунтово-окислительного эпигенеза; присутствие в составе континентальных аллювиальных толщ участков или прослоев, богатых органическим веществом; наличие в нижележащих горизонтах углеводородной или сероводородной обстановки, определяющей возможность подтока восстановителей с глубины.

Локальные геологические предпосылки: наличие русел палеодолин, обеспечивающих направленную и относительно длительную фильтрацию грунтовых растворов; присутствие в грунтовых водах свободного кислорода и повышенных содержаний урана (10^{-5} г/л и более); существование границы распространения зон грунтового окисления, находящихся в проницаемых песчаных породах, богатых органическим веществом или другими восстановителями; приразломные участки в пределах полей распространения грунтово-окисленных пород с проявлением восстановительного эпигенеза (пиритизация, карбонатизация, битуминизация, ожелезнение и омарганцевание и др.).

Месторождения пластового окисления. Месторождения данного типа отличаются от вышерассмотренного большей длительностью формирования и в ряде случаев более значительными масштабами. Его хорошо изученные представители — месторождения штата Вайоминг в США [Harshman E. N., 1970, и др.], а также месторождения СССР, описанные в многочисленных работах [Батурин С. Г. и др., 1965; Шмариович Е. М., 1970, 1976, и др.].

Оруденение приурочено к проницаемым водоносным горизонтам артезианских бассейнов, сложенным песками, песчаниками, гравелитами и конгломератами, и локализуется на границах зон пластового окисления. Рудные залежи имеют в разрезе морфологию роллов или линзовидных тел (обособленные отрезки крыльев роллов), а в плане составляют полосы, окаймляющие поля распространения пластово-окисленных пород. Связь оруденения с хорошо проницаемыми литологическими разностями позволяет успешно использовать при его отработке способ подземного выщелачивания.

Данные исследований	Эпигенетические изменения пород зоны			
	Пласстового окисления			Уранового оруднения
	Подзоны	Частичной лимонитизации "Пробега"	Неокисленных безрудных пород	
Газогидрохимических	О ₂ , мг/л	~1,0	0,05	
	Ен, В	+0,6- +0,2	-0,2	-0,05 +0,05
Геохимических	рН	~7,5	До 5,5	~7,5
	U, г/л	10 ⁻⁵	До 10 ²	10 ⁻⁷
	Se, г/л	10 ⁻⁶	До 10 ⁻⁴	10 ⁻⁷
	U, %	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	0,1	10 ⁻⁵
	Se, %	10 ⁻⁵	0,1	10 ⁻⁵
	Соре, %			0,01-0,1
Fe вал, %	~0,7	~1,2	~0,9	
Сульф, %			0,01-0,1	
СО ₂				



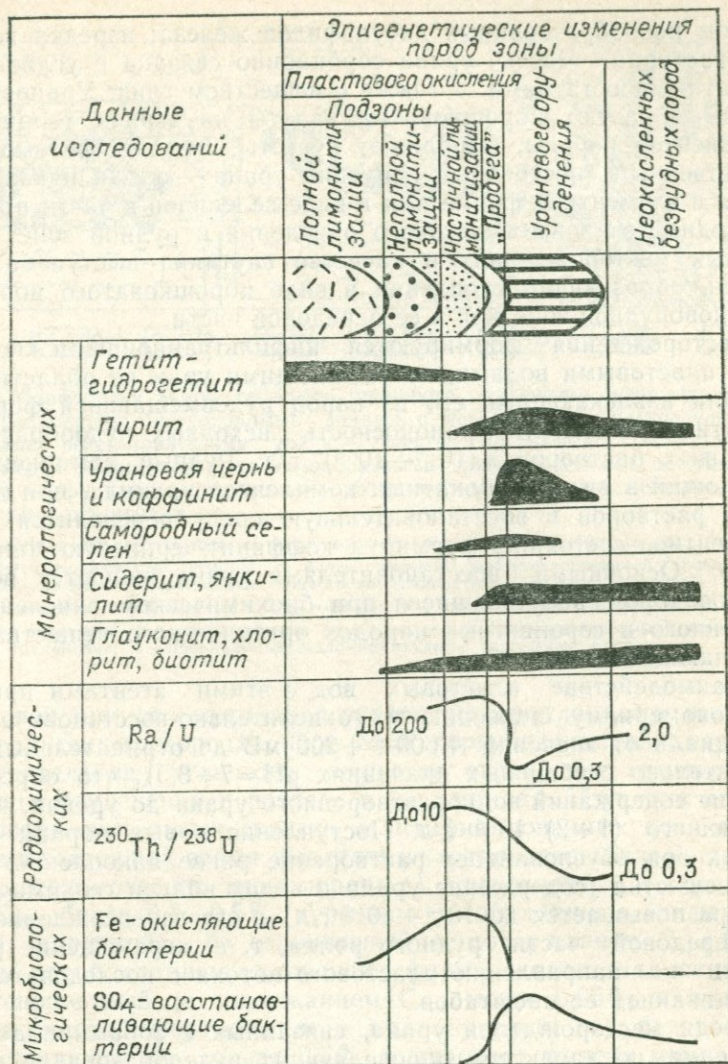


Рис. 34. Обобщенный профиль современной рудоконтролирующей эпигенетической зональности на урановых месторождениях пластового окисления.

В составе рудоконтролирующей пластовой окислительной зональности (рис. 34) выделяются зоны: 0) эпигенетически не окисленных сероцветных пород, 1) регенерированных урановых руд, 2) пластово-окисленных пород с подзонами выщелачивания урана без окисления железосодержащих минералов, а также частичной, неполной и полной лимонитизации.

Основными рудными минералами являются урановые черни и тонкодисперсный коффинит, ассоциирующие с небольшим коли-

чеством новообразованных дисульфидов железа; изредка встречается настуран. Часть урана сорбционно связана с углистыми и фосфатными остатками, а также с веществом глин. Урановые минералы образуют порошковатые налеты на зернах терригенных компонентов породы, выполняют пустоты, создают фитоморфозы. Единственный постоянный спутник урана — селен, накапливающийся в элементной форме или в виде селенидов в части профиля, переходной от зоны пластового окисления к рудной зоне; на отдельных месторождениях в качестве спутника выступает и молибден, образующий скопления в виде порошковатого иордизита в урановорудной зоне или в ее передовой части.

Месторождения формируются инфильтрационными кислородными пластовыми водами, поставляющими уран из области питания или извлекающими его из пород рудовмещающей формации по пути следования. Ураноносность исходных рудообразующих пластовых растворов $n(10^{-6} \div 10^{-5})$ г/л. Рудный компонент, мигрирующий в виде карбонатных комплексов уранила, при поступлении растворов в восстановительную среду переводится в низковалентное состояние, формируя коффинит-черниевую минерализацию. Основными восстановителями урана являются водород и сероводород, выделяющиеся при биохимическом окислении заключенного в сероцветных породах органического вещества либо поступающие извне.

Взаимодействие пластовых вод с этими агентами приводит к закономерному снижению их окислительно-восстановительного потенциала от значений $+600 \div +200$ мВ до отрицательных (при относительно стабильных значениях $pH=7 \div 8,3$), что определяет падение содержаний воднорастворенного урана до уровня, не превышающего $(1 \div 2) \cdot 10^{-6}$ г/л. Поступление новых порций кислородных вод обуславливает растворение ранее накопленного рудного вещества (содержание урана в водах вблизи геохимического барьера повышается до $10^{-4}—10^{-2}$ г/л) и его переосаждение в более передовой части рудного ролла, т. е. перемещение рудной залежи по направлению пластового потока с последовательным наращиванием ее масштабов.

Среди месторождений урана, связанных с зонами пластового окисления, по характеру определяющих рудообразование восстановительных агентов могут быть выделены три основные разновидности: 1) в проницаемых породах, содержащих углистое органическое вещество; 2) в породах с преобладанием окклюдированных газообразных восстановителей (H_2 , H_2S), внедрившихся во вмещающую литологическую среду на дорудной стадии преимущественно по разрывным нарушениям из нижележащих горизонтов осадочного чехла и фундамента [Гидрогенные месторождения... , 1980]; 3) сформировавшиеся при взаимодействии инфильтрационных кислородных вод и восходящих восстановительных термальных растворов.

Месторождениям первой разновидности, наиболее распространенным, свойственна прямая зависимость концентраций урана

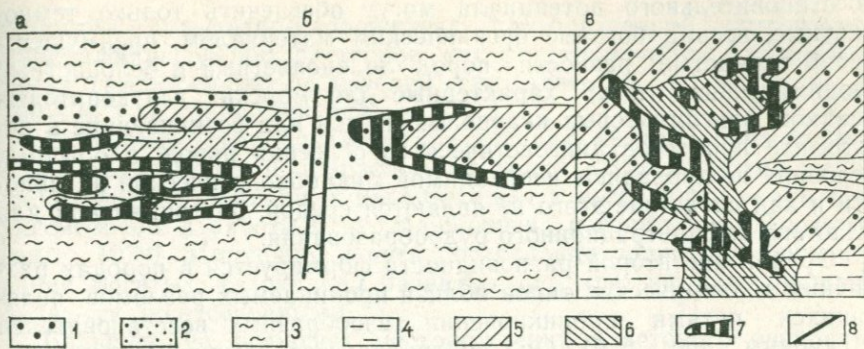


Рис. 35. Морфология эпигенетического уранового оруденения, сформированного инфильтрационными кислородными водами с неравномерно распределенными первичными восстановителями урана — углисто органическое вещество (а), с равномерно распределенными газообразными эпигенетическими восстановителями (б) и при взаимодействии этих вод с восходящими восстановительными термальными растворами (в).

1 — сероцветные песчаные породы с низкой восстанавливающей способностью ($C_{\text{орг}}=0,03\%$); 2 — сероцветные песчаные породы с более высокой восстанавливающей способностью ($C_{\text{орг}}=0,03 \pm 0,3\%$); 3 — сероцветные существенно глинистые породы с еще высокой восстанавливающей особенностью ($C_{\text{орг}}=0,3\%$); 4 — красноцветные алевролиты; 5 — зона пластового окисления; 6 — эпигенетически восстановленные (пиритизированные) породы; 7 — урановое оруденение; 8 — пронизаемые малоамплитудные разрывные нарушения.

в ролловой зоне от содержания органического углерода во вмещающих терригенных породах. При этом первичная неравномерность в распределении углисто вещества определяет изменчивость уранового оруденения в разрезе и на площади. Изучение первичных восстановительных свойств нелигифицированных осадков позволяет в настоящее время выделять и картировать следующие первичные геохимические типы пород: а) темноцветный (с содержанием $C_{\text{орг}}$ более $0,3-0,5\%$ и резким преобладанием среди форм железа пиритной), б) сероцветный (с содержанием $C_{\text{орг}}$ $0,05-0,3\%$ и преобладанием окисной формы железа над окисной), в) зеленоцветный (с содержанием $C_{\text{орг}}$ менее $0,05\%$ и преобладанием окисной формы железа над закисной), г) белоцветный (с содержанием $C_{\text{орг}}$ менее $0,5\%$ и валового железа менее $0,3-0,1\%$), д) красноцветный (с резким преобладанием окисного железа над закисным), е) пестроцветный (сочетание красноцветного геохимического типа с любым из перечисленных).

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что в случае отсутствия восстановительного эпигенеза кондиционное урановое оруденение может формироваться при развитии зон пластового окисления только по породам темноцветного и сероцветного геохимических типов (рис. 35), причем чем ниже содержание урана в кислородных пластовых водах, тем более восстановительная среда требуется для рудоосаждения. В случае деятельности слабоураноносных ($n \cdot 10^{-6}$ г/л) кислородных вод необходимое для образования рудной урановой минерализации снижение окислительно-

восстановительного потенциала могут обеспечить только темноцветные, весьма богатые органическим материалом, преимущественно глинистые разности пород. Зеленоцветный и белоцветный геохимические типы, характерные для морских глауконитовых осадков, олигомиктовых кварцевых песков или возникающие в результате процессов диагенетического оглеения пород, в обычных условиях не проявляют необходимой микробиологической активности и как следствие этого не являются средой, благоприятной для пластово-инфильтрационного рудообразования.

Оруденение второй разновидности формируется в породах различных геохимических типов вблизи проницаемых разломов, являющихся путями проникновения газообразных восстановителей с глубины (рис. 35, б). Оно контролируется обычной окислительной пластовой эпигенетической зональностью, однако какой-либо корреляции между содержаниями урана и $C_{орг}$ в рудных телах не наблюдается. Присутствие окклюдируемых в порах пород сероводорода или водорода устанавливается при дроблении образцов или их пропитывании кислотой.

На месторождениях третьей разновидности, выделяющихся обычно наиболее богатым и контрастным оруденением, устанавливается сложное переплетение двух разнородных наложенных преобразований: окислительного ряда и восстановительного эпигенеза. Урановое оруденение имеет морфологию линз, роллов, часто с элементами обратных, трубообразных и столбообразных залежей (рис. 35, в). Связь стратиформного оруденения с трещинной тектоникой обычно довольно отчетливая; при этом рудоконтролирующими являются малоамплитудные разрывные нарушения длительного развития, как правило конседиментационные. Рудная ассоциация носит явные следы наложенного воздействия термальных восстановительных растворов на ранее окисленные породы (руды восстановления), при этом возникает специфическая микрizonaльность, во внутренней части которой присутствуют новообразованные сульфиды и карбонаты, а в промежуточной — окислы урана с дисульфидами железа или без них, а в периферической — окислы железа (гетит, гематит).

Выделения урановой минерализации обычно отделены от внешних оторочек ожелезнения тонкой белесой каймой [Шмарювич Е. М. и др., 1976; Булатов С. Г., Щеточкин В. Н., 1975; Два класса руд..., 1974]. Подобные рудные скопления — пластово-надтрещинные и околотрещинные — во многих случаях носят реликтовый характер и активно разрушаются инфильтрационными кислородными водами с переосаждением урана в виде рудных скоплений первой и второй разновидностей; в других случаях оруденение оказывается захороненным в наступающей восстановительной обстановке.

Процессы термального восстановительного эпигенеза на рассматриваемых месторождениях носят отчетливые черты стадийности [Щеточкин В. Н., 1970; Морфология..., 1979] с проявлением ранней стадии аргиллизации и окварцевания и более поздними

стадиями сульфидно-карбонатных преобразований; температура минералообразующих растворов, как свидетельствуют данные изучения газово-жидких включений, снижалась от 300 в начале до 100—70 °С в конце процесса.

Возможные гидродинамические условия минералообразования, осуществлявшегося в приразломных зонах взаимодействия нисходящих инфильтрационных напорных вод и восходящих гидротерм, рассмотрены в работе Г. А. Машковцева и соавторов [Морфология..., 1979]. Источники и пути поступления урана при формировании богатых и локально развитых руд третьей разновидности являются дискуссионными.

Большинство урановых месторождений пластового окисления имеет молодой, кайнозойский, возраст (неоген—антропоген); многие из них продолжают формироваться и в настоящее время, о чем свидетельствует частое соответствие между наблюдаемой в породах рудоконтролирующей эпигенетической зональностью и газо-гидрогеохимической, а также радиогидрогеологической зональностью водоносных горизонтов. Вместе с тем известны и древние пластово-инфильтрационные месторождения мезозойского возраста, сформировавшиеся, в частности, в поздней юре и меловом периоде. Существование палеозойских месторождений рассматриваемого типа проблематично. На одном из таких генетически спорных объектов в литифицированных песчаниках ордовика (рудообразование связывается с концом силура — началом девона) рудная залежь имеет морфологию роллообразного тела, однако примыкающие к ней со стороны предполагаемой области инфильтрации породы полностью проработаны эндогенными восстановительными процессами и частично ороговикованы.

Для развития рудоконтролирующих зон пластового окисления предпочтительно наличие аридного климата, отвечающего поясам пустынь, сухих и черноземных степей [Батурин С. Г. и др., 1965; Шмариович Е. М. 1970]. В гумидных же провинциях (пояса тропических и субтропических, лиственных и хвойных лесов), где восстановительная обстановка нередко господствует уже в грунтовых водах и верховодках (высокие концентрации органических кислот и растворенного закисного железа), проникновение атмосферного кислорода на глубину, в водонапорные системы, становится менее вероятным, а на территориях со сплошным покровом многолетнемерзлых пород практически исключаются.

Зоны пластового окисления могут возникать в артезианских бассейнах лишь с инфильтрационным гидродинамическим режимом, имеющих наибольшие отметки уровней вод в прибортовых частях на наивысших гипсометрических отметках. Бассейны же и водоносные комплексы с элизионным (эксфильтрационным) режимом, характеризующиеся наличием глубинного пьезомаксимума и регионального восходящего движения пластовых растворов, неблагоприятны для формирования месторождений рассматриваемого типа. Это резко ограничивает диапазон геотектонических обстановок, в которых может иметь место развитие характеризуе-

мого процесса. В число неперспективных попадают впадины океанического типа, рифтовые зоны, краевые синеклизы континентальных платформ, основная часть собственно платформенных слабоактивизированных структур, наиболее глубоко погруженные предгорные прогибы и межгорные депрессии. Пластово-инфильтрационный процесс характерен в основном для внутренних впадин областей постплатформенной тектонической активизации — суборогенных или приорогенных областей платформ, а также для малых артезианских бассейнов высокоамплитудного постплатформенного орогена и прибортовых частей межгорных впадин в пределах гипсометрически высоко поднятых сводовых структур.

Эти выводы используются для выделения эпох и районов возможного древнего пластово-инфильтрационного рудообразования. Таким эпохам отвечают крупные региональные перерывы в осадконакоплении и формации красноцветных или буроцветных мелко-обломочных моласс (молассоидов), сменяющие в вертикальном разрезе платформенные терригенные сероцветные формации.

В практике прогнозных и поисково-оценочных работ важное место занимает отграничение зон пластового окисления от первично-красноцветных или буроцветных отложений, а также от современных и древних (погребенных подперерывных) зон поверхностного окисления, не имеющих рудогенерирующего значения. Эта задача решается путем использования совокупности морфологических, палеогеологических, гидрогеологических и литолого-геохимических признаков.

Масштабы накоплений урана, возникающих на границах зон пластового окисления находятся в прямой зависимости от содержания урана в кислородных водах области инфильтрации, скорости движения вод, длительности процесса и концентрации восстановителей в водоносном горизонте. При этом учет совокупности четырех названных факторов представляется необходимым и достаточным для определения возможной практической значимости формируемого оруденения.

Обычно геологами особо важное значение придается первому показателю, обусловливаемому наличием благоприятных источников урана. Таковыми в принципе могут быть разрушающиеся урановые месторождения на путях движения кислородных пластовых вод либо повышенные концентрации урана как в областях питания в виде пород, первично-обогащенных этим элементом (граниты, кислые эффузивы, черные сланцы), так и во вмещающих проницаемых отложениях.

Наиболее благоприятные условия для возникновения ураноносных инфильтрационных растворов создаются в районах аридного климата, где умеренный водообмен в сочетании с испарительным концентрированием обуславливает региональное распространение подземных кислородных вод с содержаниями урана $5 \cdot 10^{-6}$ — $3 \cdot 10^{-5}$ г/л и более. Для таких территорий возможность пластово-инфильтрационного рудообразования часто определяется не специфичностью источника урана, а другими перечисленными факто-

рами, и в первую очередь значительной длительностью процесса (которая может достигать нескольких миллионов и даже первых десятков миллионов лет), а также содержанием во вмещающей среде активных восстановителей урана.

Прямым поисковым критерием рассматриваемых месторождений являются области выклинивания зон пластового, окисления, сформированных длительно действовавшими ураноносными кислотными водами в породах, относительно богатых органическим веществом или содержащих эпигенетические восстановители. Карты прогноза пластово-инфильтрационного оруденения строятся по отдельным водоносным горизонтам артезианских бассейнов на литолого-фациальной и геолого-структурной основах и представляют собой карты эпигенетических изменений пород, дополненные газо-гидрогеохимическими и радиогидрогеологическими данными [Шмаринович Е. М., 1970] (рис. 36).

Региональными предпосылками оруденения являются: климатическая — области современного или бывшего существования аридного климата, отвечающие ландшафтным поясам степей; геотектоническая — области умеренной тектонической активизации платформ (с примерной суммарной амплитудой дифференцированных тектонических движений 0,3—1,5 км) и области малоамплитудного постплатформенного орогена (или суборогена); гидродинамическая — артезианские бассейны с активным инфильтрационным гидродинамическим режимом, имеющие четко выраженные внешние пьезомаксимумы и развитие; формационная — формации красноцветных или буроцветных мелкообломочных моласс (молассоидов), сменяющие в вертикальном разрезе терригенные сероцветные формации.

Районные геологические предпосылки: наличие горизонтов хорошо проницаемых пород, содержащих инфильтрационные пластовые воды; кислородная обстановка в инфильтрационных грунтовых и пластовых водах; наличие зон пластового окисления; наличие благоприятных источников рудного вещества в виде обогащенных ураном пород фундамента (в области питания) либо осадочного чехла (в области инфильтрации и циркуляции кислородных пластовых вод) или серии урановых месторождений и рудопроявлений присутствие среди водоносных горизонтов осадочного чехла пород, благоприятных для рудоотложения темноцветного и сероцветного геохимических типов; наличие в водоносных горизонтах (на тектонически нарушенных площадях) проявлений восстановительного, в том числе термального, эпигенеза; большая длительность пластово-инфильтрационного процесса, устанавливаемая палеогеологическими реконструкциями.

Локальные предпосылки и поисковые признаки: благоприятная геолого-структурная обстановка (корытообразные впадины, желоба и т. д.), обеспечивающая направленное движение кислородных пластовых потоков; принадлежность проницаемых горизонтов к темноцветному или сероцветному первичным геохимическим типам, характеризующимся повышенным содержанием органического

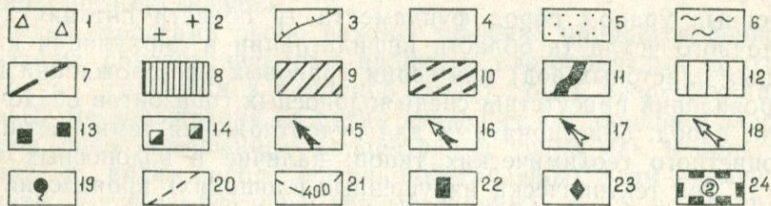
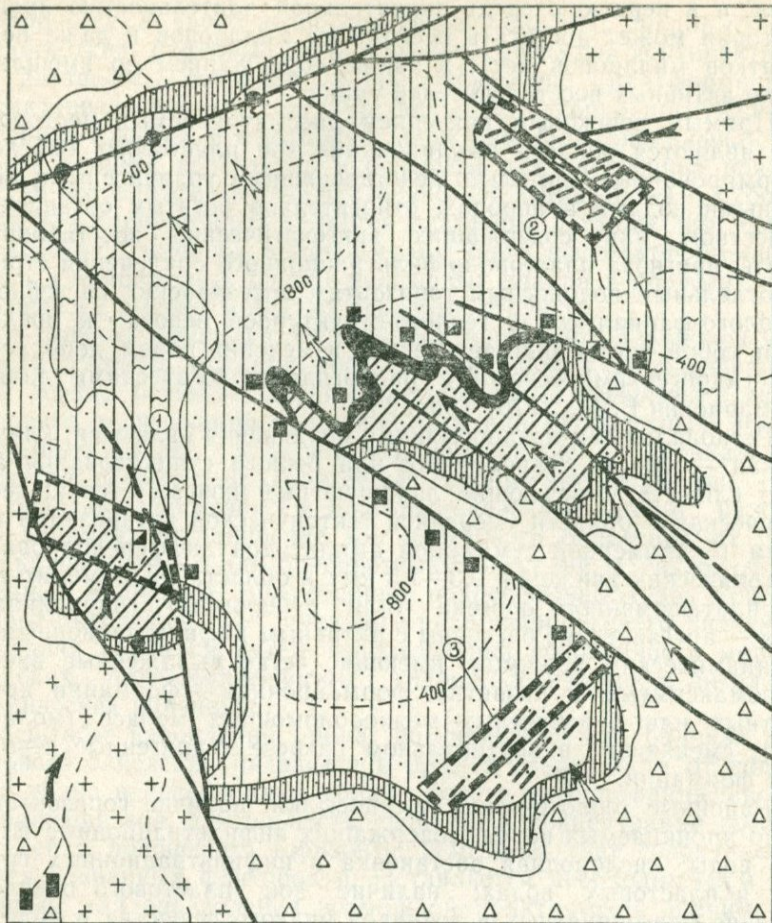


Рис. 36. Карта (макет) прогнозов урановых месторождений типа пластового окисления на площади арзжанского бассейна.

1—2 — выходы на поверхность пород фундамента: 1 — осадочно-метаморфических, 2 — изверженных; 3 — линии выходов водоносного горизонта на поверхность; 4 — выходы пород осадочного чехла, подстилающих водоносный горизонт; 5—6 — литологический состав пород водоносного горизонта: 5 — существенно песчаный (водопроницаемые литологические разности), 6 — существенно глинистый (водоупорные разности); 7 — разрывные нарушения; 8—14 — основные эпигенетические зоны: 8 — поверхностного окисления, 9 — пластового окисления установленные, 10 — то же, предполагаемые, 11 — урановое оруденение установленные, 12 — эпигенетически не окисленных безрудных пород, 13 — пиритизации, 14 — битуминизации; 15—18 — направление движения подземных вод с содержанием урана, г/л: 15 — $(1 \div 5) \cdot 10^{-5}$, 16 — $(5 \div 10) \cdot 10^{-6}$, 17 — $(1 \div 5) \cdot 10^{-6}$, 18 — $1 \cdot 10^{-6}$; 19 — очаги разгрузки пластовых вод; 20 —

талвеги долин рек и оврагов; 21 — изолинии глубин залегания перспективного горизонта от дневной поверхности, м; 22—23 — месторождения и рудопроявления урана; 22 — в породах фундамента, 23 — на поверхностных выходах водоносного горизонта; 24 — контуры перспективных площадей и их номера (цифры в кружках).

вещества; наличие областей выклинивания зон пластового окисления в проницаемых сероцветных породах; повышенные содержания урана в кислородных пластовых водах (более $3 \cdot 10^{-6}$ г/л, желательна 10^{-5} — 10^{-4} г/л); большая скорость фильтрации кислородных пластовых вод, обеспечивающая активное поступление урана к восстановительному барьеру; наличие проницаемых зон разломов, обуславливающих возможность вертикальных перетоков инфильтрационных кислородных пластовых вод из горизонтов первично-красноцветных или окисленных пород в горизонты сероцветов с формированием дополнительных ареалов пластовой лимонитизации либо определяющих возможность проникновения восстановительных агентов с глубины; наличие проявлений восстановительного, в том числе термального, эпигенеза (пиритизация, карбонатизация, окварцевание и др.); залегание перспективных горизонтов в областях выклинивания зон пластового окисления и участках развития приразломного оруденения на доступных глубинах; наличие радиоактивных аномалий (а также концентраций селена и молибдена) на контакте пластово-лимонитизированных и неокисленных пород; наличие повышенных значений радиационных дефектов кварцевых зерен в пластово-окисленных породах.

6.3. Уран-битумные месторождения в терригенных породах плитного комплекса активизированной древней платформы

Учитывая некоторые особенности геотектонического положения и вещественного состава уран-битумных месторождений и значительный интерес исследователей к этому типу месторождений, мы сочли целесообразным рассмотреть их на примере крупнейшего месторождения США Амброзия-Лейк.

Район крупных урановых месторождений Амброзия-Лейк располагается в юго-восточной части плато Колорадо, активизированной в ларамийское время. Ларамийская структура плато Колорадо представляет собой куполовидное поднятие, осложненное по периферии впадинами и поднятиями. Многие из впадин являются нефтегазоносными. На стыке впадин и поднятий располагаются уран-битумные месторождения района Амброзия-Лейк. Они расположены в южной краевой части бассейна Сан-Хаун, на северо-восточном склоне поднятия Зуни и входят в состав Южного минерального пояса Сан-Хуан (рис. 37). Впадина Сан-Хуан является крупной артезианской и нефтегазоносной структурой, обрамленной с юга поднятиями. Вдоль южного края бассейна Сан-Хуан про-

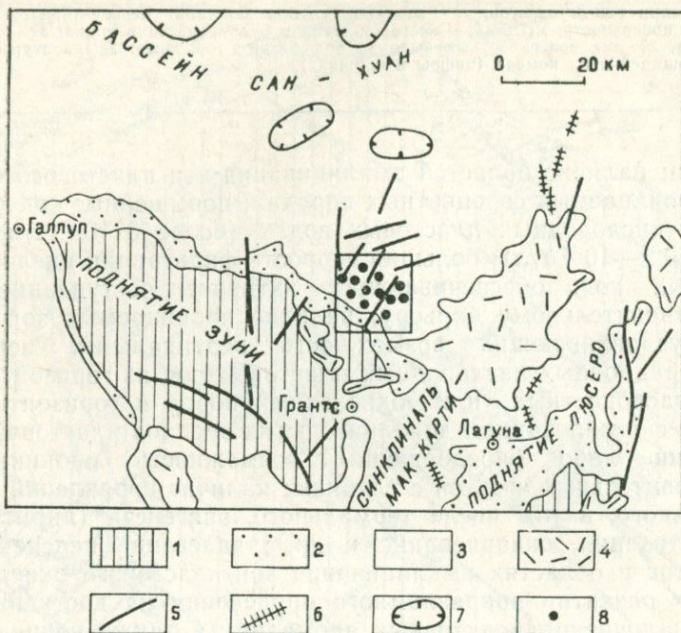


Рис. 37. Схематическая геологическая карта южной части бассейна Сан-Хуан. По Л. Хилперту и Р. Менчу [1962].

Отложения: 1 — доюрские, 2 — юрские, 3 — послеюрские; 4 — лавовые поля; 5 — разрывные нарушения; 6 — дайки диабазов; 7 — нефтегазоносные поля; 8 — месторождения урана. Квадратом обведен район Амброзия-Лейк.

слеживаются толщи осадочных пород пермско-мелового возраста, прорванные плиоценовыми и четвертичными интрузивными и эффузивными образованиями. Общее пологое падение осадочных толщ южного обрамления бассейна Сан-Хуан к северу нередко осложняется пологими складчатыми и разрывными деформациями юрского, ранне-среднетретичного и средне-позднетретичного возраста. Третичные деформации являются пострудными.

Уран-битумные месторождения Амброзия-Лейк сосредоточены в позднеюрской формации Моррисон. Месторождения протягиваются полосой в запад-северо-западном направлении на 16 км при ширине 2 км. В региональном плане расположение месторождений подчинено простиранию поднятия Зуни. Часть месторождения выявлена на склонах одного из более мелких поднятий — купола Амброзия. В районе месторождений преобладают пострудные разломы сбросового типа север-северо-восточного, северо-восточного (субширотного) и северо-западного простираний. Континентальные и озерные отложения верхнеюрской формации Моррисон, в которых сосредоточено большинство уран-битумных месторождений, подстилаются верхнеюрскими песчаниками Блафор и перекрываются песчаниками Дакота мелового возраста.

Формация Моррисон имеет трехчленное строение. В состав нижнего водоупорного горизонта Риксичер, мощность которого 41—70 м, входят переслаивающиеся серовато-бурые тонкозернистые глинистые песчаники, зеленовато-серые аргиллиты и алевролиты, линзы средне-крупнозернистых песчаников. Выше по разрезу залегают рыхлые, с косою слоистостью руслового типа, водопроницаемые желто-оранжевые, красновато-бурые, средне-крупнозернистые аркозовые песчаники с линзами конгломератов и пластами красно-бурых глинистых алевролитов и зеленых аргиллитов. Окраска песчаников в красноватые тона обусловлена наличием пленок гематита на обломках зерен. Песчаники содержат большое количество магнетита, ильменита и других минералов тяжелой фракции, углеродистое вещество в них отсутствует. К этому горизонту (Вестуотер-Каньон) приурочено подавляющее большинство уран-битумных месторождений района Амброзия-Лейк. Мощность горизонта Вестуотер-Каньон 9—82 м. Перекрывающий песчаники Вестуотер-Каньон горизонт зеленых и серых алевролитов и аргиллитов (Браши-Бейсин) мощностью около 30 м является водоупорным.

Стратиграфический контроль оруденения выражен нечетко. В осадках формации Моррисон урановородные тела фиксируются по всему разрезу. При этом оруденение обычно приурочено к зонам фациального перехода песчаников в аргиллиты, где рудные тела тяготеют к линзам и прослоям аргиллитов среди мелкозернистых песчаников. При уменьшении мощности песчаников в разрезе (свод купола Амброзия) и отсутствии линз аргиллитов в них рудные тела обычно не встречаются.

Полоса песчаников Вестуотер-Каньон, контролирующая размещение уран-битумных месторождений, вытянута в юго-восточном направлении. Пластово-линзовидные рудные тела располагаются параллельно восточному и юго-восточному направлению древних потоков. Положение их контролируется внутриформационными несогласиями и поверхностями размывов. Рудные тела обычно залегают над или под ними.

Литологический контроль выражается в приуроченности рудных тел к участкам разреза, «обогащенным» прослоями и линзами аргиллитов среди песчаников, а оруденения — к контактам песчаников с аргиллитами. Аргиллиты горизонтов Браши-Бейсин и Риксичер несомненно служили барьерами для рудоотложения (рис. 38).

Непосредственно в районе месторождений Амброзия-Лейк магматическая деятельность проявилась незначительно, но южнее и юго-восточнее широко развиты обширные лавовые поля и неки базальтов, андезитов и риолитов неоген-четвертичного возраста, располагающиеся вдоль крупных разрывных структур. К этому же периоду относится и внедрение многочисленных даек и силлов диабазов. Этот мощный вулканизм проявился позднее образования урановых месторождений [Хилперт Л., Менч Р., 1962].

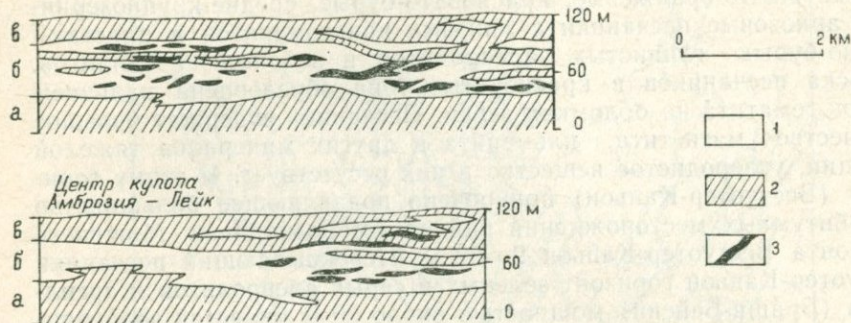


Рис. 38. Фациальные профили рудовмещающей толщи по району Амбровия-Лейк. По Л. Хилперту и Р. Менчу [1962].

За горизонтальную линию принята кровля формации Моррисон.
 1 — песчаники; 2 — аргиллиты с прослоями и линзами песчаников; 3 — ураноносные битумы;
 горизонты: а — Рикэпчер, б — Вестуотер-Каньон, в — Браши-Бейсин.

Диабазовые силлы и дайки смещают и метаморфизуют рудные тела на некоторых уран-битумных месторождениях. Незначительные проявления вулканизма происходили и в ларамийское время, когда сформировались основные урановые месторождения района, но, однако, четкой генетической связи между вулканизмом и уранонакоплением не установлено [Хилперт Л., Менч Р., 1962, и др.]. Вероятно, вулканическая и интрузивная деятельность, происходившая в обрамлении плато Колорадо от перми до неогена, способствовала интенсивному прогреву глубинных частей артезианских бассейнов и частичному смещению вод глубинных горизонтов с водами, сопровождавшими вулканическую деятельность. Кроме того, пепловый материал и вулканы кислого состава могли являться источниками урана для формирования месторождений.

На месторождениях Амбровия-Лейк основное количество урана находится в ассоциации с твердыми битумами (асфальтитами), причем устанавливается прямая зависимость между содержаниями урана и твердых битумов в руде.

Наиболее распространенной формой рудных тел является неправильная линзовидно-пластовая. Рудные тела, залегающие изолированно либо группами, обычно параллельны или субпараллельны напластованию пород. При расщеплении рудных тел или пересечении ими слоистости пород рудные тела образуют роллы с четкой верхней границей. Размеры отдельных рудных тел достигают 900 м в длину при ширине до 100 м. Глубина залегания рудных тел от 38 до 670 м. Распределение оруденения по верти-

кали многоярусное. Мощность рудной зоны достигает 30 м (при средней 3 м). Наиболее мощные рудные тела расположены вокруг купола Амброзия, а в апикальных частях купола твердые ураноносные битумы отсутствуют [Антипычева Е. И., Панов И. А., 1969].

Содержание урана в рудах месторождений колеблется от сотых долей процента до целых процентов, составляя в среднем 0,25 %. Выделяются два типа урановых руд: окисленные и неокисленные. Среди неокисленных, пользующихся наибольшим распространением, выделяются досбросовые и послесбросовые руды. Досбросовые руды, несущие значительное количество урана и сформированные в позднемерловое — палеогеновое время, имеют серый, бурый или черный цвет, обусловленный органическим веществом (типа асфальта), которое обволакивает зерна песчаников, замещает глинистые минералы или заполняет межзерновое пространство. Это вещество в разной степени пропитано коффинитом.

Черные руды по времени формирования являются наиболее ранними. Они слагают центральные части пластообразных рудных залежей и к периферии сменяются бурыми коффинитовыми рудами. Бурые руды, в которых органическое вещество нередко окислено, в свою очередь постепенно переходят в безрудные светлые вмещающие породы. Послесбросовые руды являются более поздними, почти не содержат органического вещества и пользуются меньшим распространением. Они слагают залежи, часто приуроченные к разломам и зонам трещиноватости и нередко секущие черные руды. Послесбросовые руды образовались, вероятнее всего, за счет переотложения и окисления досбросовых руд. Уран фиксируется в коффините; характерно присутствие мелких зерен ванадиевых минералов.

Руды и рудовмещающие породы кроме урана обогащены молибденом, селеном, ванадием и железом. В черных рудах основным компонентом является органический углерод. Прямая корреляционная зависимость наблюдается в неокисленных рудах между содержаниями урана, железа и углерода, иногда ванадия.

Содержания молибдена и селена в рудных пластах значительно выше, чем в безрудных песчаниках, но в пределах рудного пласта наблюдается обратная зависимость их с содержанием урана. Характерны высокие содержания ванадия в послесбросовых рудах. Ванадий в досбросовых, а молибден в неокисленных рудах, локализованных ниже уровня подземных вод, присутствуют в повышенных концентрациях, по сравнению с аналогичными рудами, залегающими выше уровня подземных вод. Наиболее высокие содержания селена фиксируются на контакте неокисленных и интенсивно окисленных песчаников. Селен обычно концентрируется непосредственно над неокисленными рудами и по нижним и верхним контактам частично окисленных рудных тел. Предполагается, что самородный селен опережает продвигающийся фронт окисления и непрерывно переотлагается в слабовосстановительной среде [Хилперт Л., Менч Р., 1962].

Рудовмещающие песчаники горизонта Вестуотер-Каньон на месторождениях Амброзия-Лейк осветлены до белого или светлосерого цвета; как правило, они становятся рыхлыми за счет выноса из цемента карбонатов; в них появляются органический углерод, большое количество пирита и отсутствуют гематитовая оболочка вокруг зерен и почти полностью тяжелые минералы. ореол обеления по размерам в несколько раз больше, чем площадь развития пиритизированных сероцветных битуминозных рудовмещающих песчаников. Считается, что указанные изменения носят эпигенетический характер и обусловлены восстановительными процессами, действующими на красноцветные породы [Антипычева Е. И., Панов И. А., 1969]. Таким образом, эпигенетически измененные (осветленные, пиритизированные) песчаники являются четким рудоконтролирующим признаком. Вблизи оруденения в измененных разностях песчаников нередко наблюдается вторичная кальцитизация. Измененные породы при удалении от рудных залежей постепенно переходят в первичные красноцветные песчаники с глинисто-карбонатным цементом. Ряд исследователей считают, что практически все красноцветные («неблагоприятные») песчаники в районе Амброзия-Лейк сформировались в результате эпигенетического окисления осветленных («благоприятных») пиритсодержащих песчаников.

Наиболее распространенным и важным урановым минералом на месторождениях является коффинит, который приурочен в основном к углеродистому веществу и реже ассоциирует с углеродизированными древесными обломками. В послесбросовых рудах с низкими содержаниями органического вещества коффинит входит в состав бурой оболочки зерен либо образует мельчайшие кристаллы и друзы на песчаных зернах. Уранинит встречается значительно реже, чем коффинит. Как правило, он фиксируется выше современного уровня подземных вод. В единичных случаях он обнаружен ниже уровня грунтовых вод, где в ассоциации с пиритом и кальцитом выполняет полости и трещины. Считается, что в этом случае урановая смолка образовалась из растворов подземных вод в результате восстановления урана, выделившегося при происходящем вблизи окислении коффинита.

Тюямунит, метатюямунит и карнотит встречаются как в глубоководных, содержащих окисленные послесбросовые руды, так и в близповерхностных месторождениях. Карнотит в кристаллической форме выполняет трещины ниже уровня подземных вод. В незначительных количествах в окисленных частях близповерхностных месторождений фиксируется отенит и метаотенит. Ванадиевые минералы встречаются в послесбросовых рудах. Из минералов молибдена широко распространен иордизит, который, как правило, фиксируется по краям залежей черных руд, реже непосредственно в рудных телах. Ограниченным распространением на месторождениях пользуется ферроселит. Серый самородный селен выполняет трещины на контактах между неокисленными

и сильноокисленными породами, причем его максимальное количество находится в неокисленных породах. Красный самородный селен располагается вблизи проявлений ферроселита и не ассоциирует с серым самородным селеном. Пирит распространен почти повсеместно по трещинам в неокисленных обесцвеченных песчаниках. Большая часть его выделилась позднее ураноносного органического вещества, но некоторая часть является более ранней. Совместно с пиритом наблюдается незначительное количество марказита. В послесбросовых рудах широко распространен барит в ассоциации с монтрозитом и парамонтрозитом. Кальцит входит в состав цемента первично-красноцветных песчаников, а также образует несколько генераций в измененных рудовмещающих песчаниках. Большая его часть образовалась раньше досбросовых руд и, вероятно, органического вещества (асфальтита). Редко и в незначительных количествах на месторождениях распространены анатаз и тенардит в ассоциации с андерсонитом. Абсолютный возраст урановых руд месторождений Амброзия-Лейк 55—80 млн. лет, что соответствует и геологическим данным.

Вопрос об источнике урана для уран-битумных месторождений Амброзия-Лейк до сих пор является дискуссионным, хотя ведущая роль в их формировании и отводится инфильтрационным процессам. Нет единого мнения и по поводу происхождения урансодержащего органического вещества (асфальтита), хотя органическая природа его сомнений не вызывает. Большинство исследователей придерживается мнения о происхождении углеродистого вещества за счет нефти [Hutte J. B., 1958; Кнох J. A., Cruner J. W., 1957; Рассел P., 1959, и др.]. По их мнению, черное углеродистое вещество, частью состоящее из гуминовых кислот, является производным продуктом окисления твердых битумов. Пористые пески горизонта Вестуотер-Каньон в конце юрского периода явились вмещающей средой для жидкой нефти и газа, поступающих в верхнюю часть купольной структуры (купол Амброзия). Аргиллиты горизонта Браши-Бейсин явились хорошим экраном для образовавшейся нефтегазонасной залежи. В ларамийскую фазу складчатости (конец мела) при воздымании купола Амброзия и образовании расколов произошло разрушение и окисление нефтегазовой залежи, жидкие и газообразные углеводороды были вынесены, а на месте сохранились лишь окисленные вязкие и твердые разновидности битумов. В процессе окисления участвовали подземные воды и бактерии, при этом происходило образование углекислоты и сероводорода. Эти процессы привели к интенсивному изменению вмещающих пород (осветление красноцветной толщи, образование пирита, вынос и переотложение карбонатов). К этому же времени относится и привнос урана в структуру глубокозалегающими (?) ураноносными подземными водами, из которых уран высаживался окисляющимися битумами с участием сероводорода.

Некоторые исследователи по наличию гуминовых соединений относят углеродистое вещество к производным угольного ряда. Ряд исследователей [Rapaport J. e. a., 1952] отстаивают точку

зрения об образовании углеродистого вещества (или асфальтита) при разложении растительного материала.

Источником урана для месторождений Амброзия-Лейк могли быть кислые магматические и туфогенные породы южного и юго-западного обрамления плато Колорадо [Nininger R. D. e. a., 1960], в которых содержание урана составляет $(3 \div 6) \cdot 10^{-4}\%$. Э. Харшман [Harshman E. N., 1970], Е. А. Нобль [Noble E. A., 1960] и другие исследователи считают, что источником урана могли являться сами рудовмещающие толщи красноцветных терригенных пород. Не исключено также, что в формировании уран-битумных месторождений Амброзия-Лейк принимали участие слабонагретые (не более 70°C) гидротермальные растворы или восходящие подземные воды глубокой циркуляции.

6.4. Урановые месторождения в аллювиальных и озерных отложениях палеодолин

Рассматриваемая урановорудная формация объединяет разно-масштабные экзодиагенетические накопления урана в аллювиальных пестроцветных и сероцветных отложениях, развитых в основании крупных седиментационных циклов и выполняющих эрозионно-тектонические депрессии типа палеодолин, врезанные в литифицированный фундамент. Ведущая структурно-морфологическая роль палеодолин, дренирующих грунтовые и подземные воды водораздельных пространств и непосредственно концентрирующих содержащийся в них уран из-за благоприятного состава выполняющих их осадков, позволяет многим исследователям выделять данное оруденение в качестве палеодолинного [Антропов П. Я., и др., 1977]. К этой же формации следует относить и месторождения, локализованные в озерных котловинах типа Танненкирх и др. [Котляр С. Г., 1961], в ФРГ, Франции, Японии.

Следует различать два типа ураноносных депрессий. Один из них связан с положением палеодолин в инверсионных блоках, еще не претерпевших погружения, что относится к близовременным кайнозойским образованиям или к испытавшим вскоре после погружения заметные поднятия. Вследствие эрозионных процессов и возникновения поверхностей региональных несогласий эти депрессионные структуры нередко оказываются отпрепарированными и сохраняют основные черты речной сети под покровом перекрывающих их с несогласием осадков. В демиссионных блоках с устойчивым погружением палеодолины и озерные котловины расположены в днище и бортах грабеноподобных впадин среди замещающих их по латерали различных по фациальной принадлежности континентальных осадков. Их выявление возможно лишь на основании детального анализа рельефа фундамента и фациального состава отложений.

Региональная геотектоническая позиция оруденения, связанного с палеодолинами, разнообразная. Ураноносные палеодолины фор-

мируются в орогенный период развития складчатых областей, на стадии образования наложенных впадин, на ранних этапах платформенного периода в пределах залегающих в основании чехла грабеноподобных тафрогенных впадин и в последующие периоды активизации во внутренних районах складчатых сооружений и в зоне сочленения их с платформенным чехлом. Реже рудные палеодолины встречаются в пределах щитов, и, наконец, ураноносные палеодолины, по-видимому, могут существовать и во внутренних районах платформ.

Несмотря на широкий диапазон геотектонических условий, имеется много общего в локализации оруденения, что определяется связью его с эпохами тектонических поднятий. В зонах сочленения складчатых областей и платформ эта связь подчеркивается циклическим строением осадочного чехла. Палеодолины, в том числе и ураноносные, располагаются на нескольких стратиграфических уровнях в основании седиментационных циклов (соответствующих тектоническим) в районах трансгрессивного залегания этих циклов на склонах складчатого основания. Ведущая роль поднятий в формировании экзогенного оруденения определяется тем, что в результате их происходит закладка речной сети и они вызывают резкое усиление динамики поверхностных и подземных вод. Это способствует активному развитию профиля выветривания на глубину и, следовательно, выщелачиванию и выносу урана из областей питания.

Масштаб и интенсивность поднятий во многом влияют на положение ураноносных палеодолин. В областях слабых поднятий в пределах платформ щитов и консолидированных складчатых областей палеодолины с урановым оруденением ограничены внутренними частями этих структур. В случае умеренных поднятий, свойственных многим складчатым областям в период платформенного их развития, палеодолины располагаются преимущественно на склонах поднятий. При проявлении интенсивных движений, характерных для активизированных и претерпевших орогенизацию территорий, рудоносные палеодолины или смещены в краевые части платформенного чехла к подножию поднятий, или локализованы во внутренних впадинах с демиссионным типом развития. Повсеместно устанавливается зависимость оруденения от состава пород областей питания. Подавляющее большинство месторождений и рудопроявлений расположено на тех интервалах палеодолин, которые врезаны в гранитоиды или находятся в непосредственной близости к ним. Благоприятно наличие легкоподвижных форм урана в размывающихся породах при валовом содержании его свыше 3—5 г/т. В определенных условиях, по-видимому, способны отдавать уран и кислые эффузивы [Антропов П. Я. и др., 1977].

В пределах платформ источниками урана, как предполагается, могут служить вышележащие горизонты первично-обогащенных ураном осадочных пород типа битуминозных сланцев, фосфоритов, а также туфы кислого состава. Следует отметить, что данная урановорудная формация распространена в различных климатических

зонах далеко за пределами районов с пластово-инфильтрационным оруденением. Палеодолинные накопления урана известны в областях развития как современных, так и древних (подзолистого, черноземного, каштанового, в меньшей мере сероземного) профилей выветривания. Отдельные объекты, судя по рудопроявлениям Мадагаскара [Домарев В. С., 1956], могут быть расположены в красной зоне.

Отложения, выполняющие ураноносные палеодолины, принадлежат пестроцветным и сероцветным терригенным формациям. Пестроцветные формации в пределах прилегающих к поднятиям аллювиальных равнин связаны постепенным переходом с красноцветными, нередко меденосными и соленосными формациями, а сероцветные — с угленосными. По направлению к поднятиям они иногда замещаются молассами.

Стратиграфическое положение отложений различно. Основные уровни, на которых могут быть развиты месторождения данной рудной формации, должны соответствовать главнейшим эпохам тектонической активности блоков с субаэральным осадконакоплением. Исходя из того что вероятность сохранения палеодолин с возрастом уменьшается, наибольшее количество их должно быть связано с кайнозойской, меньшее — с мезозойской и отдельные — с палеозойской эпохой. Вместе с тем нельзя не видеть определенного сходства молодого палеодолинного оруденения с докембрийскими ураноносными конгломератами Канады и Южной Африки, для которых намечается контроль в размещении оруденения русловыми образованиями, залегающими на эродированной поверхности [Металлогения урана..., 1980].

Ураноносные долины характеризуются различной морфологией. Наряду с небольшими врезами шириной в несколько десятков метров и глубиной в первые метры встречаются долины, ширина которых достигает нескольких километров при глубине до 150—200 м. Очертания долин в пределах относительно стабилизированных районов, чаще всего на щитах, извилистые. Для складчатых областей более обычны прямолинейные формы, отражающие эрозионно-тектоническое происхождение гидросети. Строение долин обычно асимметричное: один из бортов является более крутым и нередко расположен над разрывными нарушениями в фундаменте (рис. 39).

Литологическое выполнение палеодолин представлено комплексом долинных образований низкогорий и холмистых равнин. В прибортовых частях, особенно вблизи крутых склонов, нередко развиты шлейфы пестроцветных и красноцветных пролювиальных и делювиальных песков, мусорных глин (паттумов), щебня, иногда галечников. Отдельные языки их могут перекрывать долину и прерывать оруденение. Русловые фации располагаются в днище палеодолин, а в случае их циклического развития и выше, на нескольких уровнях внутри аллювиальной толщи, тяготея к крутому борту. В составе их обычно доминируют светло-серые косослоистые разнозернистые пески и гравийники, нередко с примесью мел-

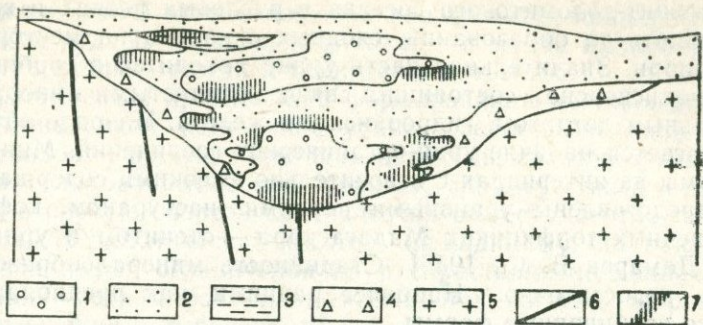


Рис. 39. Разрез погребенной палеодолины.

1 — русловый аллювий; 2 — пойменный аллювий; 3 — старичные отложения; 4 — делювиально-пролювиальные отложения; 5 — граниты; 6 — разломы; 7 — возможные участки накопления урана.

кой гальки. Широко распространены обломки обугленной древесины, а также обильный растительный детрит. Русловые фации симметрично окаймляются пойменными, среди которых иногда развиты и старичные. Преобладают зеленовато-серые глинистые мелкозернистые пески, алевролиты, реже встречаются черные углистые глины, бурые угли. Пойменные осадки обычно характеризуются высокими содержаниями органических веществ. В областях тектоно-магматической активизации отмечаются горизонты туфов и покровы базальтов. Видимого влияния на накопления урана они не оказывают.

Урановое оруденение повсеместно является стратиформным. Морфология рудных тел обусловлена конфигурацией долин, в которых они локализованы. В мелких узких долинах рудные тела в виде единой лентообразной залежи или цепочки линз располагаются в песчаных русловых фациях, вытягиваясь соответственно тальвегу долины. В более крупных долинах рудные тела образуют линзы и ленты, вытянутые вдоль бортов долины и расположенные соответственно цикличности на нескольких уровнях: а) в русловых песчаных осадках вдоль долины, б) в песчано-глинистых отложениях на внутреннем краю пойменных фаций вблизи границы их с русловыми осадками, в) на внешнем краю пойменных, старичных и русловых фаций в зоне контакта их с пролювием. В демиссионных структурах накопление урана нередко контролируется внутренними поднятиями. Отмечается проникновение урановой минерализации в коры выветривания, в днище и борта палеодолин, образование затеков по зонам дробления и трещинам. Полифациальность оруденения связана с особенностями распределения осадителей урана и отражает пути движения ураноносных вод.

Руды по содержанию урана чаще являются бедными. Уран ассоциирует с пиритом, марказитом, углефицированным растительным детритом, иногда (в районах с сероземным профилем выветривания, отчасти с каштановым и черноземным) с карбона-

тами кальцит-доломитового состава в русловых песках и гравийниках вплоть до образований, сходных с каличе на месторождении Йилирри. Значительная часть урана находится в сорбированном тонкодисперсном состоянии в связи с глинистыми минералами, растительным детритом, гидроокислами железа. На ряде объектов предполагается наличие уран-органических соединений. Минеральные формы на интервалах с относительно высокими содержаниями урана представлены урановыми чернями, настураном, коффинитом; в речных торфяниках Мадагаскара — отенитом и ураноцирцитом [Домарев В. С., 1956]. Стадийность минералообразования изучена недостаточно. Наиболее ранними, как предполагается, являются сорбционные формы.

Изменения в пределах ураноносных палеодолин в большей части относятся к диагенетическим и во многом обусловлены особенностями осадконакопления. В областях с гумидным типом литогенеза и подзолистым профилем выветривания развиты каолинит, монтмориллонит, гидрослюды. Отмечается вторичная красноватость в виде языков, отходящих от бортов палеодолин. Избыточное содержание окисного железа указывает на глеевый характер грунтовых вод. На участках с растительным детритом развиты сульфиды. На проявленность окислительных процессов указывает наличие псевдоморфоз лимонита по пириту. В областях с аридным типом литогенеза распространена карбонатизация. В промежуточных обстановках (каштановый и черноземный профили) наряду с процессами обеления вследствие развития глинистых минералов, пиритизации и на отдельных участках карбонатизации широко проявлено глеевое восстановление и окисление. Несмотря на широкое развитие указанных изменений, однозначная связь с ними уранового оруденения не установлена.

Происхождение оруденения, по нашему мнению, связано с накоплением урана на сорбционном и восстановительном барьерах, а также на щелочно-кислотном (по развитию карбонатов) за счет высаживания его из подрусловых и из грунтовых вод, дренируемых долинами и поступающих с ее склонов. Миграция урана осуществлялась в окислительных и, возможно, в глеевых условиях. Соотношение оруденения с диагенетическими изменениями замаскировано близостью седиментогенных и рудных процессов. Окисленные несущими уран водами осадки могли быть восстановлены уже после рудонакопления за счет продолжающегося разложения захороненной древесины. Последующие диагенетические и эпигенетические процессы оказали существенное влияние на перераспределение урана и привели к возникновению сложных многостадийных минеральных ассоциаций. В то же время следует учитывать, что в палеодолинах областей тектоно-магматической активизации и орогенных стадий развития складчатых областей может располагаться и гидротермальное оруденение. Оруденение, локализуясь в слаболитифицированных осадках, вне зависимости от происхождения является стратиформным, и морфология его во многом определяется слоистостью, литологическим составом, фациальной при-

надлежностью. В этом отношении оно является примером конвергентности рудных образований, что почти всегда вызывает дискуссию относительно генезиса конкретных объектов.

Геологические предпосылки формирования месторождений связаны с наличием источников урана, особенно высококларковых гранитоидов, с проявлением эпох поднятий, способствующих активизации гидродинамического режима, с присутствием осадителей урана, в первую очередь органических веществ, в отложениях палеодолин. Климатический фактор, по-видимому, не накладывает принципиальных ограничений на распространение данной рудной формации, хотя, несомненно, сказывается на типе сопровождающих изменений и, вероятно, на составе руд.

Прямые и косвенные поисковые признаки палеодолинного оруденения связаны с необходимостью определения площадей возможного развития палеодолин в пределах поднятий и на склонах в указанном диапазоне тектонических обстановок. Показательные развития континентальных отложений, залегающих на фундаменте с высококларковыми гранитоидами, заливоподобные в плане очертания границ этих образований, наличие выступов фундамента среди осадочного чехла. Необходимы данные по рельефу фундамента и вещественному составу перекрывающих его отложений с учетом особенностей развития современных речных долин и выполняющих их фаций. Основным приемом изучения погребенных долин является бурение. Значительную помощь в определении положения конкретных врезов оказывает опережающее проведение геофизических исследований, в первую очередь вертикального электроразведывания и высокоточной магнитометрии по профилям с учетом ориентировки врезов. Сеть для рекогносцировочного и поискового бурения должна выбираться с учетом ширины долин и лентовидной формы рудных тел.

В заключение следует отметить, что данная рудная формация изучена еще недостаточно. По-видимому, существуют оптимальные размеры палеодолин, выше которых уран начинает уже рассеиваться и где вследствие этого можно ожидать лишь мелкие, хотя и многочисленные, накопления урана в виде разрозненных линз. Наибольшее внимание должны привлекать палеодолины с длительным развитием, когда привнос урана мог осуществляться неоднократно, в том числе и на стадиях эпигенеза.

6.5. Урановые месторождения в аллювиальных и пойменно-болотных отложениях палеодолин неогенового возраста

В течение последнего десятилетия изучены своеобразные месторождения урана гидрогенного происхождения в континентальных осадочных отложениях неогенового (миоцен-плиоценового) возраста. Эти отложения выполняют депрессионные структуры, возникшие в процессе кайнозойской тектоно-магматической активизи-

зации крупных блоков фундамента древней платформы, консолидированных в конце докембрия и переработанных процессами палеозойского гранитообразования.

К концу мела поверхность подобных блоков представляла собою слабовсхолмленную аллювиальную равнину с почти повсеместно развитой площадной и линейной корой выветривания. Малоамплитудные сводово-глыбовые движения обусловили развитие изометричных либо слабоудлиненных депрессий и сети речных палеодолин. Положение и конфигурация их определяются древними зонами дробления, катаклизом и милонитизацией.

Фундаментом и обрамлением неогеновых депрессионных структур служат интрузивные и метаморфические образования докембрия и палеозоя, реже палеозойские и мезозойские вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи. Наименее широким распространением пользуются позднепротерозойские и палеозойские интрузивные образования, представленные разнообразными гранитоидами, иногда щелочными гранитами, граносиенитами, сиенитами. Характерные особенности этих пород — повышенные дифференцированные содержания радиоактивных элементов (урана до 13—27 г/т) и широкое развитие локальных проявлений уранового и уран-ториевого оруденения гидротермально-метасоматического происхождения.

Среди гранитоидов наблюдаются останцы нижнепротерозойских и докембрийских гнейсов, амфиболитов, мраморов, сланцев, содержащих близкие к кларкам количества радиоактивных элементов. Позднепалеозойские вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования, слагающие отдельные вулканотектонические структуры, представлены трахиандезитами, андезитами, трахитами, трахипаритами и их туфами с содержаниями урана от 3 до 30 г/т; иногда они вмещают проявления низкотемпературной урановой минерализации.

Депрессионные структуры неогена заполнены слаболиффицированными терригенными породами, переслаивающимися с вулканитами основного состава. Возраст осадков по палинологическим данным миоцен-плиоценовый; калий-аргоновые датировки варьируют от 13 до 30 млн. лет.

Осадочные образования, сформированные главным образом за счет разрушения гранитоидов ближайшего обрамления, представлены песчано-гравийными, песчаными, илесто-глинистыми отложениями русловых, пойменных, озерных, болотных фаций; нередко в разрезе отмечаются горизонты диатомитов. В русловых отложениях, тяготеющих к низам разреза, преобладают пески, супеси, гравелиты, встречаются прослои и линзы галечников и глин; для грубообломочных разностей характерна косая слоистость и фациальная изменчивость. Пойменные, озерно-пойменные и болотные отложения, представленные чередованием песков, алевролитов и илесто-глинистых пород со значительным количеством углефицированного растительного вещества, иногда пирита, распространены по всему разрезу.

В верхней части разреза обычно встречаются покровы базальтов, туфолов, долеритов и их туфов, туффитов, разделенные осадками, реже корами выветривания по базальтам. Среди базальтов выделяются массивные, пузырчатые, пористые, шлакоподобные и миндалекаменные разности. Количество покровов в разрезе колеблется от 1 до 10, их мощность от первых метров до нескольких десятков метров. Общая мощность неогеновых отложений не превышает 170 м. Характерной особенностью их является первичная серая окраска, вызванная высокими содержаниями органических остатков (обломков ветвей, листьев, стволов деревьев и др.) и рассеянного гумусового вещества; нередко отмечаются маломощные прослои лигнитов и наблюдается обогащение пород фосфором (до 1,0—1,5 %). Среди сероцветных песков кое-где проявляются процессы пластового окисления, приводящие к развитию незначительных по мощности и протяженности зон интенсивной лимонитизации.

Распределение радиоактивных элементов в неогеновых отложениях неравномерное. В гравелитистых образованиях содержание урана 2,0—4,0, тория 4,5—15,0 г/т; в песках, глинах и алевролитах, обычно обогащенных органическим веществом, концентрации урана 5,0—16,0, тория 4,5—15,0 г/т. В растительных остатках (листья, обломки ветвей и стволы деревьев) содержание урана 1,0—16,0 и тория 6,5—35,0 г/т; в базальтах и их туфах порядка 1 и 4,5 г/т соответственно.

Месторождения урана приурочены к эрозионно-тектоническим палеодолинам (рис. 40). Ширина их измеряется первыми сотнями метров, длина достигает первых десятков километров. Палеодолины выполнены горизонтально залегающими рыхлыми или слаболигнитизированными отложениями аллювиальных, аллювиально-пойменных, пойменно-озерных и пойменно-болотных фаций. В разрезе также наблюдаются покровы базальтов и их туфов, которые часто перекрывают осадки неогена, предохраняя их от эрозии. В большинстве случаев осадочные породы и покровы базальтов перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями, мощность которых 5—20 м. Суммарная мощность неогеновых отложений в рудоносных палеодолинах 50—100 м.

Урановое оруденение локализуется в основном в темно-серых песчано-гравелитистых осадочных породах, содержащих углефицированные растительные остатки и обогащенных рассеянным пиритом. Наиболее богатое оруденение наблюдается в породах, обогащенных тонкодисперсным гумусовым веществом, полуокисленной органикой и углефицированным растительным шламом. Бедное урановое оруденение встречено и в других литологических разностях, в том числе в выветрелых базальтах и их туфах, а также в линейных корях выветривания по раздробленным гранитам фундамента. Такие зоны обычно проявляются в виде сближенных субпараллельных, часто разветвляющихся крутопадающих трещин, сопровождающихся интенсивным дроблением, брекчированием, милонитизацией и нередко гидротер-

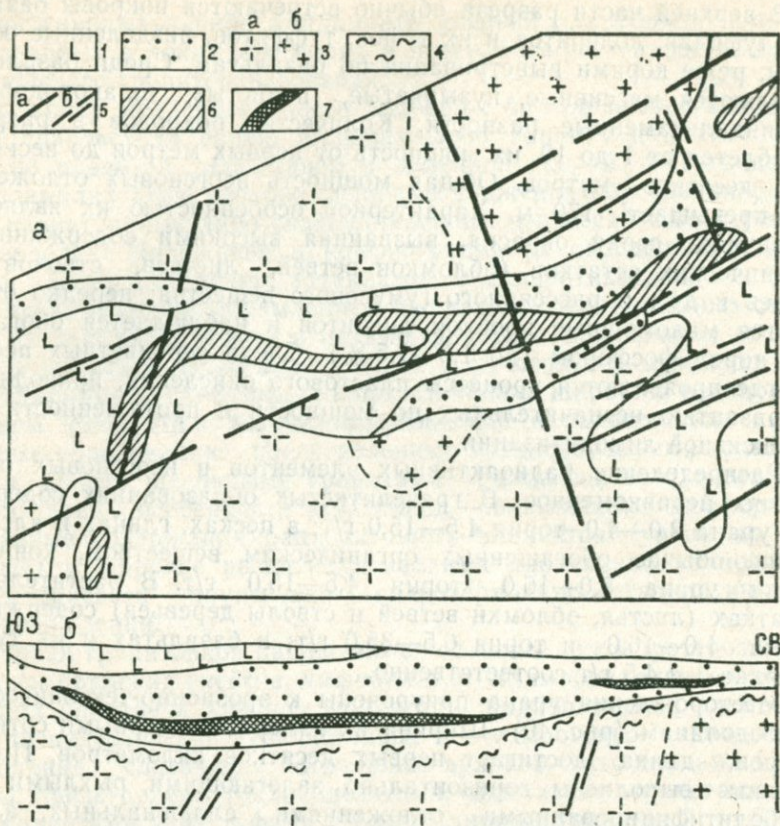


Рис. 40. Схематическая геологическая карта (а) и разрез (б) уранового месторождения в неогеновых отложениях.

1 — базальты и их туфы (N); 2 — песчаные, гравелитистые, песчано-глинистые, глинисто-глинистые отложения, обогащенные углефицированными растительными остатками аллювиальных, пойменно-озерных фаций (N); 3 — граниты (PZ₃): лейкократовые (а), субщелочные и щелочные (б); 4 — кора выветривания (только на разрезе); 5 — разрывные нарушения (а), зоны дробления, брекчирования и милонитизации (б), проявленные в гранитах позднего палеозоя и перекрытые неогеновыми отложениями; 6 — проекции рудных залежей на поверхность; 7 — урановорудные тела (только на разрезе).

мально-метасоматическими изменениями (интенсивная аргиллизация, окварцевание, иногда сульфидизация и флюоритизация). Мощность отдельных зон достигает нескольких десятков метров.

Урановые месторождения относятся к уран-черниве-коффинитовому минеральному типу. Урановая минерализация представлена тонкодисперсными окислами урана, урановыми чернями, коффинитом. Окислы урана образуют тонкие пленки, налеты; по трещинкам отмечаются уранофан, отенит, бета-уранотил. В базальтах урановые черни часто развиваются в пустотах и трещинах.

Рудные тела линзообразные, лентообразные и пластообразные, залегают согласно с вмещающими осадочными породами

и часто группируются в прерывистые лентообразные рудоносные полосы, приуроченные к осевым частям эрозионных и эрозионно-тектонических палеодолин. Рудные залежи обычно слепые и залегают на глубинах от первых метров до 100 м от поверхности; их размеры по простиранию от сотен метров до нескольких километров, ширина от десятков метров до сотен метров. Богатое урановое оруденение обычно сопровождается довольно широким ореолом бедных и убогих руд. Элементами-спутниками урана являются свинец, цинк, медь, фосфор, ванадий, мышьяк, литий.

По условиям образования урановые месторождения относятся к экзогенным, эпигенетическим. Предполагается, что они формировались в результате осаждения урана из пластовых и поверхностных ураноносных вод сингенетическими восстановителями [Перельман А. И., 1968; Данчев В. И., Стрелянов Н. П., 1979]. Значительная проявленность разрывной тектоники и наличие кор выветривания в породах фундамента и обрамления депрессий создают благоприятные условия для циркуляции подземных и поверхностных вод, способствующие миграции урана из пород обрамления и фундамента. Осаждение урана происходит в областях разгрузки. Наиболее благоприятны для формирования оруденения депрессионные структуры, в обрамлении и фундаменте которых присутствуют значительные концентрации легковыщелачиваемого урана в виде специализированных на уран гранитоидов и других пород, а также локальных проявлений более древней (донеогеновой) урановой минерализации. Те и другие могут рассматриваться как непосредственные источники урана. Контрастный разрез неогеновых депрессионных структур, состоящий из чередования проницаемых и непроницаемых пластов с различными геохимическими особенностями, создает благоприятные условия для движения ураноносных вод. Наличие в разрезе геохимических барьеров (органические остатки, гумусовое вещество и др.) приводит к образованию промышленных концентраций урана. В роли барьера, видимо, могут выступать и базальты, несущие повышенные содержания двухвалентного железа, способного играть роль восстановителя.

Рассматриваемый тип оруденения характеризуется следующими основными особенностями.

1. Урановое оруденение локализуется в осадках аллювиальных, аллювиально-пойменных и пойменно-озерных фаций миоцен-плиоценового возраста, являющихся континентальными терригенными отложениями депрессионных структур, сформированных в процессе кайнозойской тектоно-магматической активизации.

2. Урановые месторождения в пределах депрессионных структур приурочены к палеодолинам эрозионно-тектонического происхождения и контролируются зонами довольно крупных тектонических нарушений, проявленными в фундаменте.

3. Оруденение локализуется в основном в песчано-гравелитистых разностях осадочных пород, содержащих углефицированные

растительные остатки, гумусовое вещество и обогащенных рас-сеянным пиритом.

4. Рудные тела пластообразной, линзообразной формы, залегают согласно с вмещающими породами неглубоко от дневной поверхности.

5. Оруденение относится к уран-чернивево-коффинитовому минеральному типу; элементами-спутниками урана являются свинец, цинк, медь, реже фосфор, ванадий, мышьяк.

6.6. Урановые месторождения в кайнозойских площадных корах выветривания на древнем фундаменте в связи с калькретами *

Особый интерес к урановому оруденению в калькретах возник после открытия в начале 70-х годов в Австралии крупного уранового месторождения Йилирри. Ураноносные калькреты расположены в юго-западной части Западно-Австралийского щита и приурочены к тектоническому блоку Йилгари. Формирование калькретов относится к позднемезозойскому — кайнозойскому времени.

Фундамент блока Йилирри сложен архейским комплексом пород, представленных гранитами, гранито-гнейсами, мигматитами, которые секутся жилами и дайками пегматитов, аплитов, долеритов. Имеющие подчиненное значение пояса зеленокаменных пород вытянуты в меридиональном направлении и представлены ассоциацией основных интрузивных и эффузивных пород, кислых вулканитов, кластических и химических осадков, превращенных в результате метаморфизма в зеленосланцевые толщи, с которыми связаны золото-сульфидные и другие проявления. Возраст пород фундамента по радиологическим данным архейский, архейско-протерозойский.

На раннедокембрийских кристаллических породах фундамента широко развиты древние остаточные латеритные коры выветривания и плиоцен-четвертичные аллювиальные и озерные отложения. Суммарная мощность осадков не превышает 75 м. Характерной особенностью рассматриваемых образований является повышенное содержание урана и ванадия в гранитах и других кристаллических породах, а в отдельных разновидностях латеритных кор выветривания — высокие (до 0,5 %) концентрации ванадия.

Особенности условий формирования осадочных образований чехла определяются тем, что район Йилирри расположен в пределах пологоволнистого плато с абсолютными отметками до 300—1000 м, слабо наклоненного к юго-востоку. Климат территории жаркий, полупустынный, с высокой степенью испарения осадков (2500 мм/год). Среднее количество выпадающих осадков не пре-

* Калькреты — порода, описанная впервые в геологической литературе Н. Ламплафом (Геол. словарь, т. 1, с. 300).

вышает 200—250 мм/год. Большая часть из них приходится на период тропических дождей (январь—июнь), вследствие чего в этот период возникают обильные поверхностные водотоки. Реки характеризуются внутренним стоком вод, обычно заканчивающимся в глинистых конусах выноса и соляных озерах. Речные долины быстро пересыхают и почти круглый год лишены воды. Грунтовые воды циркулируют от уступов, сложенных породами фундамента с древней латеритной корой выветривания, через предгорную и аллювиальную долину в русло реки с рудоносными калькретами, которые представляют собой основной водоносный горизонт. В районе месторождения грунтовые воды находятся на глубине около 5 м с дебитом примерно 4,5 млн. л/сут.

Отчетливо выделяются две поверхности выравнивания — старое и новое плато. Старое плато расположено гипсометрически выше нового на 10—30 м (рис. 41, б). По данным К. Моргана, формирование старого плато началось в условиях гумидного климата в меловой период и завершилось в миоцене с образованием латеритной коры выветривания мощностью до нескольких десятков метров. Новое плато образовалось в миоцен-плиоценовое время в результате незначительного воздымания, обусловившего частичный размыв древней латеритной коры выветривания. Начиная с плиоцена происходит дальнейшая аридизация климата, сопровождающаяся значительным уменьшением водообильности водотоков, частичным пересыханием их и образованием соляных озер, являющихся характерной чертой современного ландшафта.

Речная долина Йилирри, в которой размещаются основные ураноносные залежи, выполнена аллювием, эвапоритами и калькретами плиоцен-четвертичного возраста. Аллювий русловых фаций состоит преимущественно из глинистого материала с обломками пород, кварца, полевых шпатов, часто с поверхности сцементированных кремнистым и карбонатным материалом. В случае значительного содержания карбоната в породе образуется переходный слой к калькретам. Эвапориты наблюдаются главным образом в отложениях конусов выноса и в соляных озерах и представлены глинами и суглинками, содержащими гипс, целестин, галит в виде рассеянных кристаллов, слоек и небольших линз.

Калькреты (кальцикриты, каличе) — порода карбонатного состава, образующаяся в аллювиальных и русловых отложениях в условиях аридного климата, состоят из мелких разложенных обломков пород, кварца, полевых шпатов, монтмориллонита, каолинита и почв, замещенных, пропитанных и сцементированных карбонатным материалом, который образуется в результате испарения грунтовых вод. Они мелко- и тонкозернистые, пористые, плотные, рыхлые, белого, светло-коричневого, серого цвета. Часто в них наблюдаются пустоты, трещинки и конкреции.

Образование калькретов, по данным ряда исследователей [Langford F. F., 1974], происходило за счет испарения поверх-

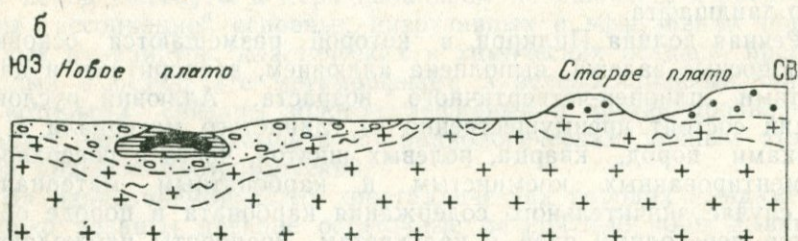
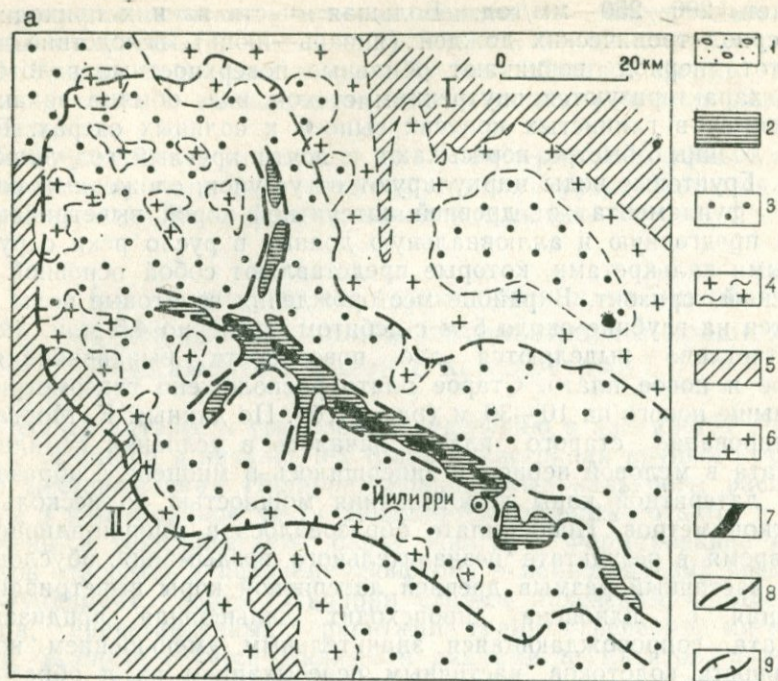


Рис. 41. Схематическая геологическая карта (а) и разрез (б) района уранового месторождения Ийлирри. По Н. П. Лаверову [1979].

1 — аллювий (только на разрезе); 2 — калькриты; 3 — кора выветривания; 4 — разложившиеся граниты (только на разрезе); 5 — зеленосланцевые породы архея (зеленосланцевые пояса: I — Уиллуна-Леонора, II — Монтегю); 6 — гранито-гнейсы, граниты, пегматиты, долериты архея; 7 — урановородные тела; 8 — предполагаемая граница распространения калькритов; 9 — граница водосборного бассейна Ийлирри.

ностных и грунтовых вод. В течение сухих сезонов испарение вод приводило к концентрации и осаждению карбонатов и солей. Во влажные (дождливые) сезоны легкорастворимые соли вымывались и выносились, в осадке оставались относительно плохо-растворимый кальцит и доломит. Насыщение, а затем замещение и цементация аллювиальных отложений карбонатом происходили в течение многих лет.

Развитие калькритов приурочено к речным долинам, реже к периферическим частям соляных озер. Широко распространены

калькреды и в долине Йилирри (рис. 41, а). Приводимый ниже сводный схематизированный разрез ураноносной долины в районе месторождения Йилирри, по данным Н. П. Лаверова [1979], характеризуется развитием трех основных горизонтов.

Верхний горизонт представлен почвами, суглинками и глинами. Почвы песчаные, часто известковистые, гипсоносные, засоленные, серого, бурого и коричневого цвета. В нижней части этого горизонта отмечаются железистые и кремнистые конкреции — ортштейны. В основании горизонта наблюдается слой известковистых суглинков, являющихся переходной разностью к калькредам. Для них характерны слоистые и угловатые текстуры. Мощность верхнего горизонта 1—2,5 м.

Средний горизонт состоит из калькредового слоя (верхнего) и переходного к известковистым глинам (нижнего). Наибольшим распространением пользуются плотные, белые, коричневатые, фарфоровидные и кавернозные калькреды. Менее характерны рыхлые землистые разности и переходные от плотных к рыхлым. Во всех типах калькредов наблюдаются обломки разложившихся пород, кварца, полевых шпатов, замещенных в различной степени карбонатом, что обуславливает различные текстуры калькредов. Так, для верхней части горизонта характерны желваковые, пизолитовые, в меньшей степени слоистые текстуры, для центральной части — натечные (столбчатые), слоистые текстуры. Суммарная мощность среднего горизонта 2—6 м.

Нижний горизонт, подстилающий калькреды, представлен известковыми глинами с кварцем. Содержание карбонатов в породах в целом резко уменьшается; так, нижняя часть горизонта, состоящая из глин, характеризуется отсутствием карбонатов и наличием многочисленных прослоев крупнозернистых песков, а нижний слой постепенно переходит в аркозы, залегающие на гранитах фундамента. Суммарная мощность горизонта 25—30 м.

Месторождение Йилирри представляет собою ленто- и пластообразную полосу ураноносных калькредов протяженностью около 6,5 км при средней ширине 50 м. Мощность калькредов непостоянна даже в пределах одной залежи и изменяется от нескольких метров до 10 м. Морфология рудных тел различна: известны небольшие разобщенные линзы и протяженные пласты, ориентированные вдоль русла. Промышленные урановые руды залегают от поверхности до глубин 15 м.

Урановая минерализация представлена карнотитом ярко-желтого цвета. Он концентрируется в трещинках, образуя тонкие пластинки, налеты, корочки на стенках пустот и каверн в калькредтах, либо тонко рассеян в их землистых разностях. Часто карнотит обволакивает зерна глинистых минералов и кварца. Нередко он встречается в трещинках среди гранитов и других пород фундамента.

По мнению большинства исследователей, карнотит образовался после формирования калькредов. Предполагается, что основные компоненты, входящие в состав карнотита, поставились в калькреды грунтовыми водами из гранитов и других пород фундамента, а также латеритных кор выветривания. Осаждение урана из грунтовых вод, по мнению Ф. Лангфорда, происходит вследствие уменьшения парциального давления углекислоты в водах, их окисления и испарения.

Н. П. Лаверов считает, что формирование урановых руд из грунтовых вод происходило в условиях жаркого климата на ис-

паритетном геохимическом барьере вблизи поверхности. Считается, что образование и отложение карнотита происходило в плиоцен-четвертичное время. Условия, при которых образовывались калькреты и карнотит, близки к условиям, существующим в настоящее время. Можно также предположить, что промышленные концентрации урана в калькретах возникли за счет разрушения более древних урановых проявлений, пока не выявленных в этом районе.

Образование калькретов и связанное с ними урановое оруденение в Западной Австралии нельзя рассматривать как уникальное явление. Калькреты и подобные им образования по имеющимся данным наблюдаются в юго-западной части США, на севере Аргентины, в Африке и Бразилии, а также в других районах.

В заключение отметим, что наиболее благоприятными для локализации уранового оруденения являются породы аллювиальных и русловых фаций, частично или полностью замещенные карбонатом, который образуется за счет испарения грунтовых и поверхностных вод в условиях аридного и семиаридного климата с чередованием умеренно влажных и сухих сезонов. Для образования подобных пород наиболее благоприятными являются области распространения мезозойско-кайнозойских континентальных отложений, приуроченные к щитам древних платформ или к отдельным их блокам. Источником урана и ванадия являются выветрелые граниты, другие породы фундамента и развитые на них коры выветривания. По-видимому, эти данные должны учитываться и при оценке районов с распространением более древних карбонатных пород типа калькретов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Массовые поиски месторождений урана сопровождаются любыми геологосъемочными, тематическими, поисковыми, оценочными, разведочными и иными работами различного масштаба и целевого назначения и проводятся в самых разнообразных регионах. Выполнением массовых поисков достигается первоначальная оценка ураноносности больших площадей, отдельных структурно-формационных комплексов, конкретных структур, выделение районов для постановки дальнейших работ на уран, а в ряде случаев выявление перспективных урановых аномалий, рудопроявлений и месторождений. Максимальный эффект массовые поиски могут дать лишь при условии знания и правильного использования геологами-поисковиками не только сведений о геологическом строении и истории развития изучаемого региона, но и геологических предпосылок и поисковых признаков промышленного уранового оруденения, выявление которого наиболее вероятно в данной геологической обстановке.

В соответствии с подходом, использованным при рассмотрении общих вопросов металлогении урана и основных типов промышленных урановых месторождений (гл. 2—6), среди главнейших структурных элементов континентальной земной коры, в пределах которых обычно проводятся массовые поиски урана, могут быть выделены:

- щиты и основания древних платформ и области их активизации;
- геосинклинально-складчатые пояса и области их активизации;
- чехлы древних и молодых платформ и области их активизации.

Очевидны весьма существенные различия в геологических процессах, обусловивших протекание уранового рудогенеза, и условий локализации уранового оруденения, в формационных типах промышленных месторождений урана в геоструктурах каждой группы. Этим определяется необходимость разработки и использования геологических предпосылок и поисковых признаков промышленных месторождений, относящихся именно к тем урановорудным формациям, которые свойственны типовым геоструктурным обстановкам проведения массовых поисков.

Естественно, что специфические особенности конкретных регионов, районов, участков проведения массовых поисков в общем случае предопределяются их геотектонической позицией, историей развития и другими чертами геологического строения. Все эти факторы могут весьма существенно влиять на ураноносность и обуславливать достаточное разнообразие условий локализации уранового оруденения. Заранее предусмотреть их влияние невозможно — оно должно изучаться и учитываться для каждого случая отдельно.

7.1. Щиты, основания древних платформ и области их активизации

Здесь крупные урановые месторождения связываются с формированием различных типов структур, наложенных на раннедокембрийские сооружения, сложенные породами высоких ступеней метаморфизма.

Протоплатформенные структуры (перикратонные и интракратонные прогибы). В силу специфики раннедокембрийского этапа истории Земли эти структуры рассматриваются как благоприятные для возникновения первично-осадочных (кластогенных) концентраций урановых минералов, иногда совместно с золотом и другими тяжелыми минералами. Такие месторождения в метаморфизованных конгломератах, гравелитах, песчаниках известны на Южно-Африканском, Канадском, Бразильском и других щитах. В качестве геологических предпосылок, свидетельствующих о возможности образования урановых месторождений этого типа, рассматриваются:

а) развитие эндопротоплатформенных прогибов на склонах кратонов, сложенных архейскими метаморфическими и ультраметаморфическими породами;

б) прибрежно-морские и континентальные условия накопления и относительно невысокая степень метаморфизма существенно терригенного выполнения этих прогибов, а также выдержанность состава пород на больших площадях;

в) позднеархейский—раннепротерозойский (2800—2200 млн. лет) возраст рудовмещающих толщ;

г) длительность процессов механической и химической дифференциации в условиях недостатка свободного кислорода в атмосфере.

К числу поисковых признаков золото-урановых месторождений можно отнести появление дельтово-руслых фаций, содержащих горизонты и пачки зрелых олигомиктовых конгломератов с кварцевой галькой, наличие в их цементе оболочных зерен пирита, золота, хромита, ильменита, монацита, рутила, циркона и углеродистого вещества. Практика показывает, что наиболее обогащены ураном и золотом относительно маломощные слои

конгломератов, отвечающие локальным перемышам и выполняющие древние эрозионные каналы.

Тафросинеклизы и миогеосинклинальные прогибы древних платформ и щитов. Эти структуры должны привлекать особое внимание при поисках урана, поскольку с эволюцией структур такого типа может быть связано формирование уникальных по запасам и качеству руд месторождений, подобных выявленным в последнее время объектам Северной Австралии и Северо-Западной Канады. Это урановые, уран-никелевые и уран-медные месторождения, размещающиеся в специфической геологической обстановке вблизи поверхностей региональных несогласий. Предполагается, что они возникли в результате весьма длительного воздействия последовательно проявлявшихся разнотипных рудоцентрирующих процессов (выветривание, корообразование, региональный метаморфизм нижних ступеней и деятельность подземных вод) на первично-ураноносные терригенные и терригенно-карбонатные отложения. В качестве геологических предпосылок возникновения таких урановых месторождений могут рассматриваться:

а) наличие в разрезе фундамента древних платформ и щитов высокоспециализированных на уран отложений;

б) развитие крутых и пологих зон нарушений, рассекающих кристаллический фундамент;

в) длительное физико-химическое выветривание и корообразование на уровне высокоспециализированных на уран отложений;

г) формирование и сохранность в течение длительного времени чехла древней платформы, перекрывающего переработанные гипергенными процессами обогащенные ураном отложения;

д) проявление метаморфизма низших ступеней, обусловившего дальнейшее перераспределение урана высвобождающимися слабоагретными водами.

Структуры протоктивизации щитов и оснований древних платформ. Эти структуры характеризуются интенсивным развитием многократных метаморфических преобразований архейско-раннепротерозойского субстрата, что обуславливает и последующий урановый рудогенез. Урановые месторождения, возникающие в такой обстановке, имеют ультраметаморфическое происхождение; связь их с конкретными метаморфическими либо магматическими комплексами весьма проблематична.

К числу геологических предпосылок, указывающих на потенциальную ураноносность структур протоктивизации древних кристаллических сооружений, относятся:

а) сопряженность во времени и пространстве регионального и дислокационного метаморфизма различных этапов, гранитизации и процессов миграции радиоактивных элементов;

б) локализация всех явлений в зонах крупных и протяженных разломов глубокого заложения, обычно разграничивающих геоблоки с различной мощностью земной коры;

в) формирование в ходе ультраметаморфического гранитообразования обогащенных ураном анатектических гранитоидов;

г) присутствие в древнем субстрате обогащенных ураном терригенных толщ;

д) широкое развитие процессов щелочного (калиевого, натрового, натрий-карбонатного) метасоматоза в зонах глубинных разломов;

е) наличие зон с нарушенным первично-конституциональным распределением урана и тория, которые, как и щелочные метасоматиты, контролируются зонами глубинных разломов.

Щелочные метасоматиты протягиваются на значительные расстояния (до десятков километров) в виде полос и линейных полей вдоль крупных тектонических нарушений, пересекающих разнообразие метаморфические породы и гранитоиды древнего цоколя. Промышленные урановые месторождения могут размещаться как в натровых и карбонатных, так и в калиевых метасоматитах и пегматоидных гранитах. Поисковые признаки для этих двух типов уранового оруденения целесообразно осветить отдельно.

Уранинитсодержащие калиевые (кварц-микроклиновые) метасоматиты, пегматиты, аплиты, пегматоидные гранитоиды формируются в процессе калиевого и кремний-калиевого метасоматоза, завершающего направленный процесс гранитообразования. Для развития ураноносных метасоматитов благоприятны зоны долгоживущих разломов, время заложения которых сближено с завершающими стадиями гранитизации. В таких зонах фиксируются последовательные явления мигматизации, смятия, будинажа; далее возникают пояса и цепочки жилообразных тел аплитов, пегматоидных гранитов и пегматитов, а затем меньшие по мощности зоны и швы бластомилонитов и бластокатаклазитов амфиболитовой фации и, наконец, более поздние милониты и катаклазиты зеленосланцевой фации.

Для ураноносных калиевых метасоматитов характерны следующие поисковые признаки:

а) развитие калиевого и кремний-калиевого метасоматоза, завершающего процесс гранитизации, в зонах долгоживущих нарушений со сложным внутренним строением;

б) приуроченность аномальных геохимических зон, обусловленных специализированными на уран пегматоидными гранитами, пегматитами, аплитами, графитсодержащими гнейсами и другими породами, к сложнопостроенным разломам длительного развития;

в) повышение концентрации урана (аномалии, зоны привноса с пониженным значением Th/U , первичные и вторичные ореолы) в гранитоидах (особенно в плагимикроклиновых разностях с повышенным значением K/Na) и сопряженных с ними метасоматитах;

г) неоднородное распределение и формы элементов-спутников уранового оруденения — молибдена, свинца, фосфора, а также

меди, мышьяка, висмута и редких земель иттриевой группы;
д) комплексные высококонтрастные аномалии урана, радия, радона в подземных водах;

е) радиометрические аномалии и скопления урана в корях выветривания и перекрывающем фундамент осадочном чехле;

ж) проявление уранинитовой минерализации в кварц-микроклиновых метасоматитах, пегматоидных гранитах, пегматитах.

Ураноносные натровые и натрий-карбонатные метасоматиты возникают в результате проявления щелочно-карбонатного метасоматоза при отсутствии опережающей кислотной волны. Оруденение формируется в зонах долгоживущих разломов, которым свойственны сложное внутреннее строение и сочетание дислокационного метаморфизма зеленосланцевой фации с альбитизацией и последующим предрудным катаклизмом метасоматитов. Эти процессы нередко наложены на деформации более высоких термодинамических уровней, представленные зонами смятия, будинажа, телами гранитов и аплитов, швами бластомилонитов и бластокатаклизитов. Альбитизация и диафторез наиболее интенсивно проявляются в участках сочленения, расщепления и изгиба разломов по простирацию — здесь чаще всего образуются благоприятные для рудоотложения зоны объемного катаклаза по самым различным породам. При этом промышленное урановое оруденение развивается не во всех телах натровых метасоматитов, а лишь в участках наложения на первичную ассоциацию (эпидот + хлорит + рибекит + эгирин) поздней, более низкотемпературной ассоциации (хлорит + гематит + карбонаты).

Для урановых месторождений в натровых и натрий-карбонатных метасоматитах установлен следующий комплекс поисковых признаков:

а) проявление в сложнопостроенных зонах разломов дислокационного метаморфизма зеленосланцевой фации, натрового метасоматоза (в виде альбититов), предрудного объемного катаклаза;

б) развитие специализированных на уран пород (гранитоидов, пегматитов, диафторитов и др.), нарушение первично-конституционального распределения урана;

в) повышение концентрации урана (аномалии, зоны привноса, первичные и вторичные ореолы), а также обогащение ураном хлорита, эпидота, рибекита и других темноцветных минералов в зонах натрового метасоматоза;

г) неоднородное распределение и ореолы индикаторов уранового оруденения (свинца, бериллия) в зонах натрового метасоматоза;

д) аномальные содержания урана, радия, радона в подземных водах гидрокарбонатно-хлоридно-натрового состава;

е) радиометрические аномалии и скопления урана в корях выветривания и осадочном чехле;

ж) проявление урановой минерализации в натровых метасоматитах.

Структуры фанерозойской тектоно-магматической активизации щитов. Промышленная ураноносность этих структур установлена к настоящему времени лишь в районах проявления мезозойских тектоно-магматических процессов. Для таких районов характерно широкое развитие многофазных, полифациальных субщелочных и щелочных вулканоплутонических комплексов калиевого ряда, специализированных на уран и торий. Гидротермальные урановые и золото-урановые месторождения в калиевых метасоматитах по метаморфическим и щелочным магматическим породам располагаются в древних купольно-блоковых сооружениях, насыщенных мезозойскими интрузивно-вулканогенными образованиями. Рудовмещающие разрывные структуры в докембрийских гнейсовых толщах — это крутопадающие, субогласные с простиранием вмещающих пород бластомилониты и бластокатаклазиты, сопровождаемые пегматоидными кварц-полевошпатовыми породами; в мезозойских щелочных породах рудовмещающими являются разрывы высоких порядков, оперяющие древние швы и пересекающие зоны контакта тел щелочных пород и вмещающих образований.

Геологические предпосылки возникновения подобных месторождений следующие:

а) тектоно-магматическая активизация раннедокембрийских сооружений (интенсивные блоковые перемещения, многофазный полифациальный субщелочной и щелочной магматизм);

б) формирование сложнопостроенных мощных и протяженных зон разломов, в пределах которых совмещены продукты динамометаморфизма и метасоматоза различных глубинных уровней, сопровождаемые пегматоидными кварц-полевошпатовыми породами (бластомилониты и бластокатаклазиты с наложенными брекчиевыми, кокардовыми, гребенчатыми и другими тектонитами);

в) специализация поздних магматических комплексов на уран и торий;

г) проявление средне- и низкотемпературной гидротермально-метасоматической деятельности, завершающей становление магматических комплексов.

Наиболее важными поисковыми признаками урановых месторождений являются:

а) широкое участие радиоактивных элементов в постмагматических процессах, в том числе развитие предваряющих главный этап уранового рудообразования ториевых концентраций в щелочных пегматитах, эгирин-кварц-полевошпатовых метасоматитах, кварцевых, кварц-флюоритовых, кварц-карбонатных жилах;

б) привнос и первичные ореолы урана и его элементов-спутников (мышьяка, вольфрама, свинца и т. д.) в зонах дробления и щелочных метасоматитах, возникающих в ходе тектоно-магматической активизации;

в) проявление урановой (браннеритовой, уранинит-настурановой) минерализации в метасоматитах, отвечающих эпохе тектоно-магматической активизации.

Необходимо иметь в виду, что время проявления интенсивных тектоно-магматических процессов, способных генерировать урановое рудообразование, в различных геоструктурах древней и древнейшей консолидации может меняться от позднего докембрия до кайнозоя. Естественно, что в этом случае могут наблюдаться отличия в условиях формирования месторождений и в их вещественном составе при сохранении ведущей роли структурного фактора контроля уранового оруденения.

7.2. Геосинклинально-складчатые сооружения и области их активизации

Промышленное урановое оруденение этих областей формируется в течение постконсолидационного периода в ходе поздних этапов развития подвижных поясов и связывается с процессами позднего орогенеза и тектоно-магматической активизации. Предпосылки ураноносности геоструктур этой большой группы и поисковые признаки урановых месторождений целесообразно проанализировать раздельно для следующих типовых обстановок:

— срединные массивы и обрамляющие их многогеосинклинальные прогибы;

— вулканические области и пояса, возникшие в процессе тектоно-магматической активизации и позднеорогенного развития геосинклинально-складчатых сооружений;

— поля развития углеродистых сланцев;

— массивы лейкократовых гранитов.

Срединные массивы и обрамляющие их многогеосинклинальные прогибы. Названные структуры, переработанные позднеорогенными и активизационными тектоно-магматическими процессами, представляют значительный интерес с точки зрения потенциальной ураноносности. Они вмещают гидротермальные урановые, фосфорурановые, молибден-урановые, битум-урановые месторождения, локализованные в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза.

К числу геологических предпосылок, указывающих на возможность проявления в рассматриваемых структурах масштабного урановорудного процесса, относятся:

а) высокая степень тектонической проработанности субстрата (развитие неоднократно подновлявшихся систем глубинных разломов и оперяющих нарушений различных порядков, формирование приразломных прогибов и орогенных впадин, цепочек гранитоидных интрузий, даек и т. п.);

б) длительное существование магматических очагов, что обуславливает дифференциацию продуктов магматизма;

в) обогащение продуктов позднеорогенного и активизационного магматизма ураном и летучими компонентами (фтором, хлором, бором, фосфором);

г) существование специализированных на уран формаций в фундаменте срединных массивов (анатектические граниты, углеродистые сланцы и др.) и в наложенных структурах (гранитоиды, вулканиты);

д) проявление средне- и низкотемпературных гидротермально-метасоматических изменений (гематитизация, хлоритизация, альбитизация, серицитизация, гидрослюдизация) и процессов нарушения первично-конституционального распределения урана в зонах тектонических нарушений;

е) развитие олово-вольфрамового, золотого, полиметаллического, никель-кобальт-висмут-серебряного, иногда бериллиевого, молибденового, ртутно-сурьмяного, флюоритового оруденения (следует иметь в виду, что такие месторождения и рудопроявления обычно более ранние и контролируются разрывными структурами иных направлений, нежели урановые).

Поисковые признаки урановых месторождений во многом определяются историей развития того или иного срединного массива, типом оруденения, конкретными условиями проявления уранового рудогенеза. К числу наиболее общих поисковых признаков могут быть отнесены:

а) наличие ореолов гидротермально-метасоматических изменений (гематитизации, альбитизации, карбонатизации, хлоритизации, аргиллизации, флюоритизации), приуроченных к крупным, неоднократно подновлявшимся разломам и оперяющим их нарушениям;

б) развитие вблизи зон разломов аномальных концентраций урана, тория, молибдена, мышьяка, фосфора, циркония, иногда редких земель (наибольший интерес представляют зоны сквозного привноса этих элементов, тяготеющие к участкам повышенной проницаемости среди пород различного состава);

в) локальные аномалии и скопления урановых минералов, в том числе на проявлениях других полезных ископаемых;

г) повышенные и аномальные содержания радиогенного свинца (^{206}Pb) и гелия в благоприятной обстановке.

Весьма важным является тот факт, что все перечисленные признаки вытекают из повсеместно наблюдаемой первостепенной роли крупных разрывных нарушений в локализации уранового оруденения.

Более разнообразны местные поисковые признаки, свойственные различным типам месторождений и проявленные в пределах различных срединных массивов. Так, для фосфор-урановых месторождений, размещающихся в вулканогенно-терригенно-карбонатных толщах приразломных прогибов, весьма важно проявление поздних субвулканических интрузий и даек среднего и умеренно кислого состава и повышенной щелочности, обычно обогащенных фосфором, фтором, хлором и др., иногда ураном. Особая роль

в развитии уранового рудообразования в пределах большинства срединных массивов отводится поздним гранитным интрузиям, специализированным на уран и богатым летучими компонентами. Пространственные соотношения гранитных массивов и месторождений урана могут быть различными. В одних случаях наиболее важные урановые и молибден-урановые месторождения размещаются во внутренних частях массивов, в других — в зоне их эндо- и экзоконтактов, в третьих — только в экзоконтактовой зоне шириною не более 1—1,5 км. Но в любом случае промышленное урановое оруденение локализуется в зонах крупных нарушений, протяженность от десятков километров до нескольких сотен километров. Такие нарушения обычно являются опережающими по отношению к глубинным разломам, ограничивающим срединные массивы, или разделяющими их на блоки.

Вулканические области и пояса, возникшие в процессе тектономагматической активизации и позднеорогенного развития геосинклинально-складчатых сооружений. Эти структуры весьма перспективны для поисков промышленного уранового оруденения. Наибольший интерес в них представляют гидротермальные низко- или среднетемпературные молибденит (иордизит)-настурановые, нередко с флюоритом, месторождения, локализованные в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза. Объекты подобного рода размещаются среди эффузивных и эффузивно-осадочных пород, слагающих вулканические постройки кальдерного типа. Известны промышленные месторождения и в фундаменте вулcano-тектонических структур. Ураноносные палеокальдеры всегда располагаются в узлах пересечения трансрегиональных и региональных глубинных разломов различных направлений и представляют собой наиболее проницаемые для магматизма, метасоматоза и рудогенеза участки вулканических областей и поясов.

Геологическими предпосылками развития урановорудного процесса в позднеорогенных и активизационных вулканических структурах являются:

а) проявление дифференцированных и контрастных серий и ассоциаций эффузивно-пирокластических пород (базальт-андезит-липаритовой, базальт-липаритовой, трахибазальт-трахилипаритовой) на завершающих стадиях развития вулканических областей;

б) полицикличность вулканизма, формирование крупных палеовулканических структур кальдерного типа и (иногда) сопряженных с вулканизмом гранитоидных массивов;

в) гетерогенность фундамента, в котором сочетаются жесткие, многократно гранитизированные докембрийские блоки и фрагменты геосинклинально-складчатых структур;

г) специализация на уран и торий продуктов вулканизма (в первую очередь кислых и стекловатых разностей) и позднеорогенных гранитоидов;

д) присутствие в фундаменте обогащенных ураном образований (интрузивно-ультраметаморфических гранитоидов, углеродистых сланцев);

- е) многократное подновление тектонических нарушений;
- ж) развитие поствулканических гидротермально-метасоматических преобразований вулканитов и пород фундамента (альбитизация, березитизация, аргиллизация);
- з) проявление флюоритового, полиметаллического, молибденового (в особенности иордизитового), баритового, золотого оруденения в вулканитах и породах фундамента;
- и) формирование региональных геохимических зон с нарушенным первично-конституциональным распределением урана и элементов-спутников.

В качестве поисковых признаков уранового оруденения могут быть использованы:

а) широкое развитие рудосопровождающих изменений — гематитизации, березитизации, хлоритизации, аргиллизации, преимущественно гидрослюдизации, наложенных на пропилитизацию, альбитизацию, калиевый метасоматоз;

б) появление зон привноса урана (преимущественно в подвижной форме), в особенности совмещенных с зонами рудосопровождающих изменений в пределах вулканогенно-тектонических структур и окружающих пород;

в) ореолы рассеяния урана, совмещенные с ореолами элементов-спутников — молибдена, свинца, мышьяка, цинка (при этом показателем сравнительно неглубокого залегания рудных тел иногда может служить совмещение сопоставимых по размерам ореолов урана, молибдена, свинца, мышьяка с более локальными ореолами меди, золота, иногда таллия, бериллия, серебра);

г) повышение содержаний урана в донных осадках и водах постоянных и временных водотоков;

д) значительное количество локальных аномалий урановой природы, проявление урановой минерализации в рудах рядовых месторождений;

е) аномальные концентрации радиогенного ^{206}Pb , в особенности совпадающие с зонами дробленных, гидротермально-измененных пород и аномалиями урановой природы.

Области развития углеродистых сланцев. Эти области в геосинклинально-складчатых сооружениях и областях их тектономагматической активизации благоприятны для уранового рудообразования. С углеродистыми сланцами пространственно и генетически связаны разнотипные урановые месторождения.

Накопление углеродистых сланцев, первично-обогащенных легкомигрирующими (при определенных условиях) ураном и другими рассеянными металлами, происходило в ходе геосинклинального этапа развития позднедокембрийских и палеозойских структур в мио- и эвгеосинклинальных зонах. Формирование месторождений урана обязано воздействию наложенных процессов, обусловивших мобилизацию, перераспределение и концентрацию рассеянного урана в рудных залежах. К числу таких процессов относятся региональный и контактовый метаморфизм, гидротер-

мальная деятельность, перенос металла подземными водами, коррозия.

Главнейшими геологическими предпосылками для формирования урановых месторождений в связи с углеродистыми сланцами являются, во-первых, развитие первично-ураноносных углеродистых сланцев (предпочтительнее в разрезах миогеосинклинального типа) и, во-вторых, проявление наложенных процессов (гипогенных либо гипергенных), способных создать условия для мобилизации, переноса и дальнейшей концентрации рассеянного урана.

В условиях интенсивного развития гранитоидного магматизма и сопровождающих его гидротермально-метасоматических процессов среди ураноносных углеродистых сланцев возникают гидротермальные браннерит-уранинитовые и сульфидно-настурановые месторождения. Урановые руды размещаются как в ореолах контактового метаморфизма гранитоидных интрузий, так и за их пределами. Для отложения урана и других компонентов, заимствованных из вмещающих углеродистых сланцев, благоприятны зоны дробления и брекчирования, пересекающие гетерогенные пачки, которые включают прослои и линзы хрупких углеродистых пород.

В блоках с относительно ограниченным проявлением магматизма, сложенных интенсивно дислоцированными и преобразованными в условиях низких ступеней метаморфизма миогеосинклинальными карбонатно-сланцевыми толщами, включающими пачки и прослои ураноносных углеродистых сланцев, располагаются важные в промышленном отношении стратиформные месторождения карбонат-пирит-коффинит-настуранового минерального типа. По современным представлениям это полигенные объекты, сформированные в результате длительного последовательного проявления диагенеза, метаморфизма, гипергенных преобразований первично-ураноносных пород. Главная роль в рудоконтроле принадлежит литологическому фактору и элементам пликативной и дизъюнктивной тектоники. В таких условиях особое внимание должно уделяться расшифровке внутреннего строения сложно-складчатых толщ, изучению зон трещиноватости в углеродистых сланцах, выявлению геохимических барьеров (на различных уровнях) и проявлений древнего гипергенеза.

В областях неотектонической активизации, характеризующихся развитием ураноносных углеродистых сланцев и частичной сохранностью древних кор выветривания по ним, нередко формируется настурановое и урановослюдковое (уран-ванадатовое, уран-фосфатное) оруденение инфильтрационного происхождения. Оно формируется на этапе орогенной активизации за счет осаждения урана из подземных трещинных вод на восстановительном (ванадиевом) барьере, возникшем в процессе более древнего корообразования. Размещение оруденения контролируется зонами повышенной трещиноватости и проницаемости в пачках чередования углеродистых, углеродисто-кремнистых пород и филлитовидных сланцев. Определенная роль в рудолокализации отводится и пликативной

тектонике, в частности шарнирам синклинальных складок. Изучению этих ситуаций и должно уделяться первостепенное внимание.

Массивы лейкократовых гранитов. Они размещаются обычно в консолидированных геосинклинально-складчатых сооружениях и их жестком обрамлении и входят в состав гранитовой, аляскитовой, гранит-лейкогранитовой формаций, отвечающих этапам позднеорогенного развития и тектоно-магматической активизации. Характеризуясь повышенной ураноносностью, лейкократовые граниты относятся, как правило, к специализированному на уран образованиям. С учетом последних данных, массивы лейкократовых гранитов целесообразно рассматривать не только как индикатор потенциальной ураноносности крупных блоков земной коры, но и как среду, благоприятную для формирования месторождений уранофан-бета-уранотилового минерального типа в зонах низкотемпературных глинисто-цеолитовых изменений. В качестве геологических предпосылок возникновения подобного оруденения рассматриваются:

а) длительный интенсивный гранитоидный магматизм, эволюционировавший до гранитовых, аляскитовых и лейкогранитовых формаций;

б) специализация массивов лейкократовых гранитов на уран и другие редкие металлы (олово, вольфрам, молибден, бериллий);

в) постмагматические изменения (грейзенизация, серицитизация) — предпочтительнее невысокой интенсивности, но в значительном объеме гранитных массивов;

г) высокие содержания легкоподвижного урана в гранитах;

д) развитие протяженных (единицы километров—десятки километров) разрывных нарушений — сближенных и сопрягающихся систем зон дробления, брекчирования и т. п., пересекающих массивы лейкократовых гранитов и формирующихся в условиях растяжения;

е) проявление в зонах нарушений процессов глинисто-цеолитового изменения;

ж) развитие в регионе водных и водно-солевых ореолов и потоков рассеяния урана и аномальных по урану водопунктов;

з) присутствие вторичной урановой минерализации (отенит, цейнерит, торбернит и др.) в рудах грейзено-жильных месторождений олова, вольфрама, молибдена;

и) положение массивов лейкократовых гранитов в неотектонических поднятиях.

Поисковыми признаками уранофан-бета-уранотилового месторождений могут служить:

а) привнос урана в наиболее тектонически нарушенные и проработанные глинисто-цеолитовыми изменениями блоки — фрагменты гранитных массивов (следует иметь в виду, что этот признак наиболее надежно устанавливается на уровне коренных пород);

б) протяженные интенсивные потоки рассеяния, водно-солевые и водные ореолы урана в водотоках, дренирующих массивы лейкократовых гранитов;

в) скопления вторичных урановых минералов (отенит, метаотенит, урансодержащий апатит и др.) в выходах измененных пород на дневную поверхность;

г) аномалии урановой и радоновой природы, повышенные концентрации радиогенного ^{206}Pb , пространственно совмещенные с зонами нарушений и глинисто-цеолитового изменения.

Необходимо подчеркнуть, что зоны глинисто-цеолитового изменения могут оказаться не единственной ситуацией локализации уранового оруденения среди лейкократовых гранитов. Роль геохимического барьера, на котором произошло осаждение урана из рудоносных растворов, могут, очевидно, сыграть скопления темноцветных минералов, шпильры и ксенолиты, обогащенные двухвалентным железом или органическим веществом. Нельзя исключить, что подобные месторождения могут возникнуть не только среди лейкократовых гранитов, но и в других обстановках.

7.3. Чехлы древних и молодых платформ и области их активизации

Геоструктуры этого типа характеризуются весьма широким развитием экзогенного уранового оруденения. Подавляющее большинство урановых месторождений здесь возникло под воздействием инфильтрации пластовых и грунтовых вод, меньшая часть — в результате экзодиагенеза и сорбобиогенных процессов, а также гидротермальной деятельности.

Терригенные отложения плитных комплексов. В этих отложениях обычно проявляется урановое оруденение, связанное с зонами пластового или грунтового окисления. Наиболее общие геологические предпосылки формирования месторождений урана в связи с зонами пластового окисления сводятся к следующим:

а) пространственная сопряженность в пределах чехла платформ крупных относительно поднятых участков (областей питания артезианских бассейнов кислородсодержащими ураноносными водами) с обширными депрессионными структурами (областями разгрузки), выполненными аллювиальными или прибрежно-морскими терригенными отложениями при обязательном наличии проницаемых первично-сероцветных горизонтов (преимущественно песчаников) и разделяющих их водоупоров (главным образом глин);

б) растянутое во времени существование артезианских бассейнов, обеспечивающее длительное и направленное движение напорных рудоформирующих вод от областей питания к областям разгрузки;

в) неоднократное проявление мало- и умеренноамплитудных восходящих движений, что создает благоприятные условия для

перераспределения оруденения и формирования наиболее богатых рудных концентраций.

Поисковые признаки уранового оруденения, обычно не выходящего на дневную поверхность, определяются закономерным положением рудных тел на выклинивании зон пластового окисления. Главнейшими из признаков являются:

а) выклинивание зон пластового окисления, фиксирующееся резкой сменой желтых (иногда красных) пород через пятнистые и серые белесоватые к серым неокисленным разностям;

б) наличие радиоактивных аномалий и повышенных концентраций селена и молибдена вблизи контактов окисленных и неокисленных пород;

в) незначительное (тысячные доли процента) превышение содержаний урана в окисленных породах краевых частей зон пластового окисления по сравнению с неокисленными разностями;

г) сдвиг равновесия в сторону радия в краевых частях зон пластового окисления;

д) повышенная по сравнению с фоновой радиоактивность и (иногда) вторичная урановая минерализация на выходах проницаемых пород на дневную поверхность;

е) повышенные содержания урана (и резкие перепады их) в пластовых водах.

Урановое оруденение, связанное с зонами грунтового окисления, возникает при условии проявленности следующих геологических предпосылок:

а) наличие континентальных, существенно аллювиальных пестроцветных толщ с прослоями углей или сероцветных пород, богатых органическим веществом;

б) слабая литификация осадков к моменту рудообразования;

в) умеренная тектоническая активизация, приводящая к интенсификации гидродинамического режима и относительно слабому проявлению эрозионных процессов;

г) наличие в самой осадочной толще либо в ее обрамлении концентрированных источников урана (специализированные на уран образования либо более древние рудные скопления);

д) широкое проявление древнего или молодого грунтового-окислительного эпигенеза.

Важнейшими поисковыми признаками уранового оруденения являются:

а) развитие погребенной сети палеодолин, выполненных пестроцветными или сероцветными песчаными породами и обеспечивающих направленную длительную фильтрацию ураноносных кислородсодержащих вод;

б) наличие зон грунтового окисления в проницаемых песчаных породах, обогащенных природными восстановителями;

в) аномалии урановой или радоновой природы на границах распространения зон грунтового окисления.

Наложённые депрессии. Эти депрессии, благоприятные для формирования месторождений урана «палеодолинного» типа,

могут располагаться в пределах геотектонических структур различного типа и ранга: в областях сочленения чехлов платформ с геосинклинально-складчатыми сооружениями, во внутренних частях складчатых поясов, реже во внутренних районах щитов и платформ. Главнейшими геологическими предпосылками образования уранового оруденения в наложенных депрессиях являются:

а) развитие эрозионно-тектонических структур и их систем, заполнявшихся в условиях низкогорного либо равнинного, слабо-всхолмленного рельефа континентальными терригенными (или вулканогенно-терригенными) отложениями аллювиального, озерного, болотного происхождения и содержащими в разрезе пачки и прослойки сероцветных пород, обогащенных остатками углефицированной органики;

б) слабая степень литификации осадков и незначительная тектоническая нарушенность депрессий;

в) наличие в обрамлении и фундаменте депрессий пород, содержащих повышенные концентрации легко выщелачиваемого урана — предпочтительно гранитов, возможно углеродистых сланцев, фосфоритов, кислых вулканитов, затронутых процессами кооробразования;

г) развитие надрудных экранов, предохраняющих оруденение от разрушения просачивающимися сверху кислородными водами (роль таких экранов могут выполнять потоки лав и покровы туфов, слои многолетнемерзлых грунтов, аллювиальные отложения более молодых террас и т. п.).

Наиболее надежными поисковыми признаками уранового оруденения, обычно не выходящего на дневную поверхность, являются водные ореолы рассеяния урана и радоновые аномалии в благоприятной геолого-структурной обстановке.

Угленосные отложения. В некоторых случаях они могут оказаться благоприятными для развития промышленного уранового оруденения. Своеобразные уран-угольные месторождения известны в угленосных толщах, участвующих в строении плитных комплексов платформ и выполняющих наложенные впадины среди геосинклинально-складчатых структур. При проведении массовых поисков урана в пределах распространения угленосных отложений целесообразно руководствоваться следующими геологическими предпосылками:

а) развитие пологозалегающих, слаболитифицированных толщ, включающих пласты углей низкой степени метаморфизма и контактирующие с ними горизонты проницаемых песчаников;

б) наличие длительного перерыва в осадкообразовании после формирования угленосных толщ, обусловившего их выход на дневную поверхность и выветривание в условиях аридного или семиаридного климата;

в) оживление гидродинамического режима под воздействием орогенических движений в области, примыкающей к бассейну угленакопления;

г) широкое проявление инфильтрационных процессов, сопровождающихся эпигенетическим грунтовым и пластовым окислением угленосных толщ.

Основные поисковые признаки уран-угольных месторождений следующие:

а) выклинивание зон пластового окисления в пластах бурых углей и горизонтах песчаников, обогащенных углистым материалом;

б) радиоактивные аномалии и повышенные концентрации урана, селена, молибдена, германия в углях и вмещающих породах в полосах выклинивания зон пластового окисления среди песчаников, гравелитов, углей;

в) повышенные содержания урана в пластовых водах угленосных отложений.

МЕТОДЫ ПОИСКОВ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Поиски урановых месторождений — это широкий комплекс взаимосвязанных геологических, геофизических, геохимических работ и металлогенических исследований, проводящихся в определенной последовательности на основе высокопроизводительных технических средств и современной лабораторной базы.

8.1. Общие сведения о методах и видах поисков месторождений урана

Под методом поисков понимается совокупность последовательных поисковых работ (исследований), проводимых для установления, качественного и количественного, какого-либо геологического, физического или химического явления, определенного свойства или состояния горных пород, минералов или отдельных элементов и т. п. в ограниченном пространстве. Вид поисков — это выполнение поисковых работ одним или несколькими методами в профильном, площадном или объемном вариантах с использованием тех или иных технических средств. Виды поисков бывают однометодные и комплексные.

На современном этапе методы поисков урановых месторождений можно выделить в три группы:

— структурно-геологическую, объединяющую методы геологического картирования (в том числе аэро- и космофотогеологического картирования — АФГК, КФГК), структурной геофизики, геоморфологические и др., задачей которых является установление проявленности геологических предпосылок, свидетельствующих о возможности формирования промышленных месторождений;

— геохимическую, охватывающую различные литогеохимические (в том числе визуальные и радиометрические), гидрогеохимические, атмогеохимические и биогеохимические методы исследований, направленные на выявление прямых и косвенных признаков уранового оруденения (собственно урановых концентраций, скоплений продуктов его радиоактивного распада и элементов-спутников, окolorудных изменений пород) и ряда геологических предпосылок, вытекающих из неоднородностей распределения урана и сопутствующих компонентов. Визуальные и радиометрические ме-

тоды поисков, традиционно выделяемые ранее в самостоятельные группы, мы включаем в группу геохимических методов в широком понимании этого термина;

— методов прогнозирования, основанных на обобщении и анализе результатов структурно-геологических и геохимических исследований конкретного региона с целью выделения перспективных для поисков урана геологических ситуаций и разработки конкретных рекомендаций по дальнейшему направлению поисковых работ и комплексу применяемых при этом поисковых методов.

В процессе поисков обычно выделяют предполевой период, полевые работы, лабораторные исследования и камеральные работы.

В предполевой период проводят изучение, обобщение и анализ материалов предшествующих работ, дешифрирование аэровысотных и космических снимков, а также мероприятия по организации полевых работ.

Полевые поисковые работы по условиям их ведения подразделяют на дистанционные, наземные и подземные. К дистанционным относят космические и аэрофотосъемки, аэровизуальные геологические наблюдения, аэрогеофизические поиски и др.; к наземным — геологические методы картирования и наземные виды структурной геофизики, автомобильные, пешеходные, эманационные и шпуровые поиски различных модификаций, каротаж наземных буровых скважин, геолого-радиометрическую документацию поверхностных горных выработок, различные виды металлотрического, гидро-, атмо- и биогеохимического опробования и др.; к подземным поискам — комплекс структурно-геологических и геохимических работ, выполняемых при проходке подземных горных выработок и бурении из них поисковых и поисково-оценочных скважин.

По применяемым техническим средствам выделяют космические, воздушные (аэро), автомобильные виды исследований, поиски с применением поверхностной горнопроходческой наземной буровой и подземной горно-буровой техники и пешеходные поиски.

По глубинности методов различают поверхностные и глубинные виды поисков.

Поверхностные поиски ориентированы на выявление выходящего на поверхность или проявленного в приповерхностных условиях уранового оруденения и его ореолов рассеяния. К ним относятся геологическое изучение поверхности, аэрогамма-спектрометрические, автомобильные и пешеходные съемки, шпуровые и эманационные съемки обычной модификации, визуальные наблюдения.

Глубинные виды поисков направлены на выявление слепых и погребенных месторождений урана и проводятся в основном с применением горных и буровых работ. Глубинные поиски включают комплекс геолого-структурных и геохимических исследований (гамма-каротаж скважин, металлотрическое опробование, геологическая документация керн и т. д.) представительного горизонта (наиболее приближенного к дневной поверхности горизонта достаточно надежного и максимального площадного развития вто-

ричных ореолов рассеяния [Еремеев А. Н., 1963 г.]), вскрываемого с помощью вибрационных, шнековых, буровых и других агрегатов. При этом поисковые скважины, как правило, лишь вскрывают перекрытые чехлом рыхлых отложений коренные породы, углубляясь в них на первые десятки сантиметров; по рыхлым отложениям применяют обычно бескерновое бурение. Составляемые при глубинных поисках геолого-структурные и геохимические карты отражают геологическое строение и геохимическую специализацию изучаемой площади на уровне коренных пород.

При буровых поисках, в отличие от глубинных, буровыми скважинами вскрывается не просто представительный, но потенциально рудовмещающий горизонт или рудоносная структура с целью непосредственного выявления уранового оруденения и его первичного ореола рассеяния.

Ниже приводится ориентировочная плотность сети буровых скважин, применяемая при глубинных и буровых поисках в зависимости от масштаба работ:

Масштаб	Расстояние между профилями, км	Расстояние между скважинами на профиле, км
1 : 200 000	12,8—6,4	6,4—1,6
1 : 100 000	6,4—3,2	3,2—0,8
1 : 50 000	3,2—1,6	1,6—0,4
1 : 25 000	1,6—0,8	0,8—0,2
1 : 10 000	0,8—0,4	0,4—0,1

Подземные поиски осуществляются обычно в пределах разведываемых или эксплуатируемых месторождений путем проходки подземных горных выработок и бурения подземных скважин в комплексе с геолого-структурными, геохимическими и соответствующими прогнозными исследованиями. Работы проводятся на глубинах, практически недоступных изучению с поверхности, и направлены на выявление новых рудных залежей в пределах уже известных или новых рудоносных структур.

Важную информацию о наличии урановых руд на глубине предоставляют эманационный трековый, уранометрические (металлометрические) и биогеохимические методы в комплексе с методами геофизики: магнито-, электро-, грави- и сейсморазведки. Глубинные структуры изучаемого региона могут быть установлены аэро- и космофотогеологическими методами.

В глубинные виды поисков включены и поиски, основанные на изучении стока малых рек, радиогидрогеологии и гелиеносности региона. Глубинность этих поисков в благоприятных условиях достигает нескольких сотен метров, однако фиксируемые ими ореолы урана (радия, радона, гелия) не всегда свидетельствуют о наличии в недрах уранового оруденения, а для ореолов рудной природы зачастую бывает сложно установить непосредственную связь их с рудными концентрациями. Поэтому данные виды работ применяются в основном на начальных стадиях оценки ураноносности крупных регионов.

Лабораторные исследования органически входят в состав всех поисковых методов урановых месторождений, так или иначе связанных с опробованием. Результативность геологических и геофизических методов значительно повышается благодаря изучению минералогических, петрографических, петрофизических и других особенностей пород и руд. Лабораторные исследования могут выполняться как в полевых, так и в стационарных условиях. В разделе 8.7 дана краткая характеристика методов определения общего содержания урана, тория и радия, применяемых сегодня в практике работ.

В период камеральных работ статистически обрабатываются данные радиометрических и других поисков, дополняются, уточняются и корректируются по этим данным различные геологические и геофизические карты, уточняется геолого-геофизическое положение выявленных урановорудных объектов. Наиболее важной задачей камерального периода является комплексный анализ всех имеющихся материалов и на его основе степени проявленности геологических предпосылок, поисковых признаков и закономерностей размещения уранового оруденения, а также выделение локальных наиболее перспективных площадей для проведения дальнейших поисковых работ. Результаты детальных поисков отражаются на специализированной геологической карте, соответствующих накладках и разрезах.

Для оценки степени перспективности тех или иных локальных площадей применяются различные методы, основой которых является качественное и количественное рассмотрение благоприятных геологических предпосылок и поисковых признаков.

8.2. Стадийность и общее комплексирование поисковых работ

Повышение достоверности опоскования площадей проводится в настоящее время путем широкого применения горных и буровых работ и методов геофизики; естественно, это приводит к значительному удорожанию поисковых работ в целом и требует предельно возможной локализации перспективных участков. С целью наиболее эффективного проведения поисков для каждой изучаемой территории в зависимости от полноты и достоверности имеющихся данных определяются комплекс рациональных поисковых методов, соответствующих геологическим, природным и экономическим условиям региона, и рациональная последовательность поисковых работ.

Для слабоизученных на уран регионов применяется стадийность исследований, основанная на последовательном выявлении районов, полей, структур, в пределах которых установлены благоприятные геологические предпосылки и проявлены поисковые признаки промышленного уранового оруденения.

В проведении поисковых работ соблюдаются следующие принципы:

— изучению региона (района, площади) предшествует анализ всех геологических, геофизических, геохимических и прогнозно-металлогенических материалов предыдущих исследований, детальное дешифрирование аэро- и космофотоматериалов;

— изучение региона осуществляется «от общего к частному» с последовательной концентрацией работ на наиболее перспективных площадях;

— геологическому картированию и проведению поисков с применением горно-буровых работ предшествует так называемая подготовка площади, т. е. изучение региона (района, площади) аэрогеофизическими поисками (в том числе АГСМ) или соответствующими видами наземных исследований (магниторазведка, электроразведка, автомобильная, пешеходная или шпуровая гамма-съемка и т. д.); в отдельных случаях могут проводиться изучение стока малых рек, гелиевая, уранометрическая и другие съемки;

— комплекс поисковых работ должен быть достаточно полным, а методы — представительными для достоверной оценки перспективности изучаемой площади на заданную глубину.

В отличие от целенаправленных, массовые поиски месторождений урана заключаются в основном в проведении прямых радиометрических и других радиогеохимических методов, направленных на выявление прямых признаков уранового оруденения.

Указанные методы детально рассмотрены А. Н. Еремеевым и А. П. Солововым [1963—1968 г.]; Д. Я. Суражским, В. И. Красниковым и другими [1969 г.]; А. Б. Кажданом, Н. Н. Соловьевым [1982 г.]; В. В. Наглей, Л. И. Овчинниковым [1982 г.]. Ниже приводятся лишь основные сведения об этих методах.

8.3. Литогеохимические поиски

Литогеохимические виды поисков урановых месторождений имеют целью выявление рудных тел по первичным и вторичным ореолам и потокам рассеяния и основаны на изучении распределения урана, продуктов его распада и элементов-спутников в горных породах. При этом используются визуальные, радиометрические, ядерно-физические и металлометрические методы.

Визуальные методы широко применяются при геологическом картировании (в том числе и глубинном) и заключаются в непосредственном фиксировании прямых и косвенных признаков уранового оруденения и их качественной оценки.

Радиометрические и ядерно-физические методы позволяют проводить прямые качественные и количественные определения содержания различных элементов в рудах и горных породах в их естественном залегании. Но чувствительность этих методов часто бывает недостаточной для обнаружения слабопроявленных ореолов.

Несколько условно в рассматриваемую группу включены методы, основанные на изучении дефектов кристаллических решеток различных минералов, возникающих под воздействием радиационного излучения, — термолюминесцентный метод и метод радиационных дефектов (электронного парамагнитного резонанса).

Металлометрические методы предполагают отбор проб горных пород, почв, илов и последующий качественный и количественный анализ их в лабораторных условиях. Эти методы хотя и характеризуются относительно невысокой производительностью и связаны со значительными затратами времени, однако обладают повышенной чувствительностью и дают возможность определять широкий спектр элементов в исследуемых пробах.

Визуальные методы. В процессе проведения аэрогеофизических исследований, геологического картирования, геологической документации горных выработок и керна буровых скважин особое внимание уделяется визуальному выделению различных прямых и косвенных признаков уранового оруденения.

Визуальными наблюдениями могут быть зафиксированы проявления первичной и, в особенности, яркоокрашенной вторичной урановой минерализации и зоны гидротермально-метасоматических изменений, связанные непосредственно с рудным процессом; выделяются участки развития флюоритовой, сульфидной и другой рудной минерализации, часто сопровождающей урановое оруденение.

Визуальные наблюдения при буровых поисках гидрогенных месторождений являются основным методом выявления и картирования зон эпигенетических изменений рудовмещающих пород. Визуально выделяются эпигенетическое ожелезнение, обеление, окремнение, лимонитизация, алунитизация, карбонатизация, пиритизация, битуминизация и т. д., картируется характер распределения их по площади, взаимоотношение с элементами геологической структуры. При этом отмечают все изменения окраски пород, связанные с эпигенетическими окислительно-восстановительными процессами. Основное внимание обращается на характер окраски (интенсивная, слабая, равномерная, неравномерная, пятнистая, полосчатая, гнездообразная, смешанная и т. д.), степень, форму и размер выделений наложенной минерализации.

Как правило, визуальные наблюдения включают детальное петрографо-минералогическое изучение с составлением минералогической и цветовой эталонных коллекций, учитывающих все эпигенетические изменения рудовмещающих пород.

Радиометрические методы. Применение радиометрических (спектрометрических) методов поисков и исследований радиоактивных руд основано на использовании физических явлений, возникающих при радиоактивных превращениях. В практике поисков месторождений урана наибольшее распространение получили приборы, фиксирующие гамма-излучение.

Для выражения результатов измерений ионизирующего излучения используются различные единицы. Постановлением Госу-

дарственного комитета СССР по стандартам от 25.06.79 в связи с введением в стране с 01.01.80 Международной системы (СИ) отменен ряд единиц, ранее широко использовавшихся в практике геологоразведочных работ.

Так, стандартом СЭВ 1052—78 и ГОСТ 8.417—81 была введена новая единица экспозиционной дозы гамма-излучения — кулон на килограмм (Кл/кг). Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения измеряется в амперах на килограмм (А/кг) (в практике работ используется ее производная — $1 \text{ пА/кг} = 10^{-12} \text{ А/кг}$). Ранее применявшиеся единицы экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы рентген (Р) и рентген в секунду (Р/с) связаны с новыми единицами следующими соотношениями: $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$; $1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$, а производная единица 1 мкР/ч связана с новой единицей 1 пА/кг следующим соотношением: $1 \text{ мкР/ч} = 0,072 \cdot 10^{-12} \text{ пА/кг}$.

Вместо применявшейся единицы активности радионуклида кюри (Ки) используется единица беккерель, имеющая размерность с^{-1} и связанная с прежней соотношением $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Аэрогамма-спектрометрическая съемка. Эта съемка проводится, как правило, в комплексе с аэромагнитным и аэроэлектроразведочными методами и выполняется с опережением наземных прогнозно-геологических и поисковых работ на исследуемой территории.

В настоящее время при аэропоисках используются высокочувствительные 4-кристалльные (ГСА-70, ГСА-71) и многомодульные (ГСА-75, СКАТ-77) гамма-спектрометры с объемом кристаллического детектора более 25 л, ядерные магнитометры (ЯМП-3, АМП-77, М-204), аэроэлектроразведочная аппаратура (метод сверхдлинноволнового радиокипа), специальные бортовые устройства, рассчитывающие соотношения содержаний радиоактивных элементов.

Аэрогеофизическая съемка проводится летным и наземными отрядами. Летный отряд выполняет аэрогеофизическую съемку, полную обработку получаемых материалов и их комплексную интерпретацию с выделением перспективных локальных аномалий, полей и участков. Наземные отряды проверяют и предварительно оценивают рудоносность всех перспективных аэрогамма-спектрометрических аномалий и полей в течение текущего полевого сезона. Число наземных отрядов и их численность определяются объемами работ и уровнем применяемых технических средств.

Градуировка каналов аэрогамма-спектрометров производится при полете над природными полигонами, подготовленными силами производственных организаций по единой методике [Техническая инструкция... , 1977 г.]. В период между градуировками контроль масштабов записи каналов концентрации осуществляется с помощью рудных моделей, в которых эквивалентные содержания радиоактивных элементов определяются путем сопоставления с результатами эталонных участков. Интегральный канал аэро-

гамма-спектрометра градуируется в единицах мощности экспозиционной дозы гамма-излучения с помощью образцовых радиевых источников гамма-излучения.

Благоприятными районами для проведения аэрогамма-спектрометрической съемки являются площади с хорошей обнаженностью, а также площади с перекрытием отдельных участков коренных пород элювиально-делювиальными отложениями мощностью до 0,5—1 м с наличием открытых ореолов рассеяния урана.

Аэросъемочные работы подразделяются на собственно аэросъемочные, обзорно-рекогносцировочные и детализационные.

Целевое назначение разномасштабных съемок при поисках и прогнозировании месторождений урана отражено в табл. 4.

Изучение больших территорий с целью аэрорадиогеохимического районирования, выделения перспективных площадей под крупномасштабные поиски, выявления рудных районов и узлов, а также обзорно-рекогносцировочные съемки для обоснования аэропоисков масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000 проводится в масштабах 1 : 200 000 (1 : 500 000) при длине маршрутов в горах 50—70, в слаборасчлененной местности от 70—100 до 300 км. Обзорно-рекогносцировочные полеты проводятся по заранее намеченным маршрутам, служащим основой для выяснения применимости аэрометода в конкретных условиях района и увязки последующих измерений.

Аэросъемочные работы в равнинных и среднегорных районах выполняются по сети прямолинейных маршрутов. Съемка в горных районах проводится либо по криволинейным маршрутам путем облета склонов способом «горизонталей», либо по прямолинейным маршрутам способом «скатывания и подъема» с «кругами набора высоты».

Выбор высоты полета определяется затуханием гамма-излучения в воздухе и чувствительностью спектрометра. В процессе съемки изменение высоты полета учитывается путем приведения измеряемых значений к уровню поверхности Земли с помощью счетно-решающего устройства, управляемого сигналами радиовысотомера (РВ-2, РВ-3). В спокойном рельефе автоматическое приведение практически исключает влияние высоты полета на аэрогамма-спектрометрические измерения до 100—120 м. При полетах в условиях расчлененного рельефа или вдоль склонов точность определения высоты снижается.

Аэропоиски крупного масштаба рекомендуется проводить на минимально доступной высоте (табл. 5).

Средняя скорость полета при аэросъемке составляет, км/ч: для самолета типа АН-2 165—170; вертолетов МИ-8 — 120—135, МИ-4 — 110—130. Для уменьшения погрешностей, возникающих за счет изменения путевой скорости, промежуточные ориентиры местности в зависимости от масштаба съемки регистрируются через следующие интервалы, км: 1 : 1 000 000 — 20, 1 : 200 000 — 10, 1 : 100 000 — 8, 1 : 50 000 — 5, 1 : 25 000 — 3, 1 : 10 000 — 0,5. Аномальные записи выделяются на фоне помех, уровень которых определяется сред-

ТАБЛИЦА 4

ЦЕЛЕВОЕ НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ
СЪЕМОК ПРИ ПОИСКАХ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
УРАНА

Назначение	Масштаб съемки	Межмарш- рутное расстояние, м	Макси- мальная длина маршрута, км	Вид съемки
Рекогносцировочная оцен- ка радиогеохимических особенностей террито- рии, выявление площа- дей, наиболее благо- приятных для приме- нения средне- и круп- номасштабных съемок	1 : 500 000 1 : 1 000 000	5 000 10 000	До 500	Мелкомасштабная, обзорно-реког- носцировочная
Выявление региональных радиогеохимических за- кономерностей для це- лей аэроадиогеохими- ческого районирования. Создание аэрогеофизи- ческой основы для прогнозно-металлоге- нического райониро- вания; выделение площа- дей под крупномас- штабные воздушные поиски месторождений урана; выделение пер- спективных площадей для наземных поиско- вых работ	1 : 200 000	2 000	300	Среднемасштабная
Крупномасштабные по- иски месторождений урана	1 : 25 000 1 : 50 000	250—500	30—50	Крупномасштаб- ная
Детальные поиски место- рождений урана, де- тальное картирование рудных узлов	1 : 10 000	100	15	Детальная

ТАБЛИЦА 5

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ВЫСОТЫ АЭРОПОИСКОВ

Тип рельефа	Минимально допустимая (безопасная) высота полета, м	Интервал рабочих высот, м
Равнины, гряды, холмы, горные плато с колеба- ниями высот до 200 м	25	25—50
Холмы, гряды, горные равнины с колебаниями высот от 200 до 500 м	50	50—75
Пересеченная горная местность с колебаниями рельефа свыше 500 м	75	75—100
Местность с абсолютной высотой более 2500 м	100	100—130

ними квадратическими флюктуациями по каналам спектрометра и вариациями содержаний естественных радиоактивных элементов на участке поисков. В зависимости от фона J_{ϕ} и аномального приращения ΔJ гамма-поля природа радиоактивности локальных аномальных записей может быть определена с различной степенью достоверности. В связи с этим аномальные записи делятся на недостоверно [$\Delta J \leq 0,18$ пА/кг (2,5 мкР/ч)] и достоверно спектрометрируемые ($\Delta J > 0,18$ пА/кг). По соотношениям абсолютных содержаний аномальные записи подразделяются на многоэлементные: урановые (торий-урановое отношение менее 1), ториевые (торий-урановое отношение больше 5), калиевые и смешанные: уран-ториевые, уран-калиевые, торий-калиевые, уран-торий-калиевые. Детализации подлежат участки маршрутов с аномальными записями, характеризующиеся локальностью совпадающих между собой записей интегральной интенсивности гамма-поля и концентрации урана (радия), урановой или преимущественно урановой природой радиоактивности аномалий, наличием косвенных благоприятных признаков и благоприятной геологической обстановкой. Детализации подвергаются также записи локальных аномалий урановой и существенно урановой природы радиоактивности ($\Delta gTh/\Delta gU \leq 2$) при ширине аномалии $T \leq 360$ м и активности $\Delta J = 0,86$ пА/кг (12 мкР/ч) и более, записи весьма локальных аномалий [$T < 100 \div 150$ м, $\Delta J = 0,07 \div 0,21$ пА/кг (1,0—3,0 мкР/ч)] и записи аномалий, природа радиоактивности которых не устанавливается достоверно по результатам однократного залета, а также локальные аномальные записи весьма высокой интенсивности вне зависимости от природы радиоактивности [$T < 360$ м, $\Delta J > 1,08$ пА/кг (15 мкР/ч)].

Привязка измерений производится либо путем фотографирования ориентиров, либо радиогеофизическими системами («Поиск», МИР-3, МИР-4 и др.). Наиболее точным является радиогеофизический метод, обеспечивающий привязку маршрута с точностью ± 10 —15 м. Однако в связи со значительной его стоимостью в аэропартиях он применяется редко. В настоящее время наиболее распространен аэрофотографический способ привязки.

При проведении крупномасштабных аэросъемок наиболее ответственным элементом поисков месторождений урана является выделение локальных аномальных записей с последующей их детализацией, проводимой, как правило, сразу же после ее выявления.

В практике поисков месторождений урана под записью аэрогамма-спектрометрической (радиометрической) аномалии понимается любое увеличение интенсивности гамма-поля (урана, тория, калия), превышающее суммарное значение среднего уровня окружающих пород на 1,3 стандартного отклонения измерений от этого уровня.

Под аэрогамма-спектрометрической аномалией (полем) понимается одиночная или групповая аномальная запись или соответствующая ей на плане локальная область изменения интенсив-

ности гамма-поля и концентраций урана (радия), тория, калия, фиксирующая неоднородность распределения одного или нескольких радиоактивных элементов в земной коре.

По приращению интенсивности гамма-поля ΔJ аэрогамма-спектрометрические записи подразделяют на мало (до 0,18 пА/кг) и высокоинтенсивные (более 0,54 пА/кг). Записи аномалии делятся на локальные ($T \leq 360$ м на половине интенсивности) и нелокальные ($T = 360 \div 500$ м). Записи полей принято подразделять на узкие ($T = 500 \div 2000$ м) и широкие ($T > 2000$ м).

Детализация проводится на возможно низкой высоте в следующем порядке.

1. Повторяется запись аномалии (расстояние от ориентира до аномалии, 2—3 залета аномальной записи, фиксация максимума аномалий выбросом вымпела, принятие решения о необходимости детализации участка аномалии).

2. Изучается участок аномалии (4—6 маршрутов длиной 2—4 км через 50—100 м в обе стороны от центра аномалии до ее затухания, маршрут через центр аномалии в поперечном направлении, аэровизуальные наблюдения и фиксация дополнительных максимумов).

3. Уточняется привязка аномалий, привязка к высотам, составляются штурманские кроки или выполняется фотографирование аномалии в масштабе 1 : 10 000—1 : 30 000.

С целью повышения качества аэрогамма-спектрометрической съемки в процессе ее выполнения проводятся измерения по текущим увязочным маршрутам, повторные измерения на рядовых съемочных маршрутах, измерения на радиометрическом контрольном маршруте (РКМ), а также дополнительные залеты на участках, залетанных на некондиционной высоте (> 75 м). Объем текущих и повторных маршрутов должен составлять до 2—3 % для самолета АН-2 и 3—4 % для вертолетов МИ-4 и МИ-8 от общей длины съемочных маршрутов. Измерения на РКМ проводятся регулярно в начале и в конце съемочного полета. Средняя квадратическая погрешность измерения кларковых концентраций радиоактивных элементов не должна превышать, %: по урану — $0,4 \cdot 10^{-4}$, по торю — $1,0 \cdot 10^{-4}$, по калию — 0,15.

Обработка материалов аэрогамма-спектрометрической съемки проводится в два этапа (полевой и камеральный) и выполняется вручную или (при наличии соответствующего технического и математического обеспечения) на универсальных ЭВМ с использованием автоматизированных систем обработки аэроданных (АСОД).

При ручной обработке в полевой период проводится расшифровка лент аналоговой записи с построением предварительных карт гамма-поля и концентраций радиоактивных элементов. В процессе первичной обработки выделяются аномальные записи, вычисляются их параметры и составляются дополнительно карты аномальных записей, а по мере необходимости различного рода вспомогательные карты (отношений элементов и др.), позволяю-

щие получить наиболее полную информацию из материалов аэрогамма-спектрометрической съемки.

В камеральный период выполняется окончательная обработка, которая предусматривает оценку качества аэроданных, увязку аэрогамма-спектрометрических материалов путем корректировки предварительных карт концентраций и гамма-поля по данным измерений на секущих, повторных и контрольных маршрутах с учетом результатов фотопривязки аэромаршрутов по всей площади работ и построения карт концентраций радиоактивных элементов, гамма-поля, аэрорадиогеохимических и прогнозных карт. В результате окончательной обработки аэрогамма-спектрометрических материалов составляют крупномасштабные (1 : 50 000) при аэропоисках в масштабе 1 : 25 000 и мелкомасштабные (1 : 500 000) при среднемасштабных (1 : 100 000—1 : 200 000) аэросъемках карты гамма-поля, концентраций урана, тория, калия, аномальных записей.

При автоматизированной системе обработки все картографические материалы оформляются программными средствами попланшетно в виде, пригодном для использования их в качестве отчетных документов без каких-либо дополнений. Программы предусматривают также составление таблиц с параметрами локальных аномальных записей и результатами статистической обработки аэрогамма-спектрометрических данных.

Основной задачей наземных работ при аэрогамма-спектрометрической съемке является отыскание и геологическое изучение аномалий и повышенных полей в пределах разнотипных зон и специализированных на уран геологических комплексов. Конечной целью наземных работ при среднемасштабных съемках является выделение перспективных площадей для постановки крупномасштабных воздушных и наземных исследований, а при крупномасштабных аэросъемках — установление перспективных объектов, заслуживающих дальнейшей разведки, и отбраковка заведомо неперспективных рудопроявлений. Наземная проверка аномалий является обязательной составной частью аэрогамма-спектрометрических работ и проводится в процессе их выполнения силами аэрогеофизической партии в год проведения съемок.

Наземные проверочные работы на перспективных аэрогамма-спектрометрических аномалиях и полях при крупномасштабных аэропоисках выполняются в два этапа (предварительный и детальный). При среднемасштабных аэропоисках проверку перспективных аэрогамма-спектрометрических аномалий выполняют в один этап. Наземные исследования на этапе предварительной проверки аэрогамма-спектрометрических аномалий, полей и зон проводятся комплексом методов, включающим: геолого-радиометрические поиски; гамма-спектрометрические измерения по отдельным профилям на участках с повышенной радиоактивностью, в зонах гидротермального изменения пород, а также в фоновом гамма-поле; опробование коренных пород, рыхлых отложений и водных источников; магниторазведку и съемку методом СДВР

(при необходимости) по отдельным профилям для подтверждения и изучения аэроаномалий магнитного и электромагнитного полей; проходку канав, шурфов, расчисток; бороздовое опробование.

Детальная проверка перспективных аэрогамма-спектрометрических аномалий и участков осуществляется специальным отрядом; обычно под детальную проверку выделяются участки площадью 2—3 км². На участке проводятся: комплекс геолого-геофизических исследований масштаба 1:5000—1:10 000, в том числе специализированное геологическое картирование; радиометрическая, спектрометрическая и металлометрическая съемки; магнито- и электроразведочные работы; глубинные поиски на площадях, перекрытых рыхлыми отложениями; горные и буровые работы с опробованием; минералого-геохимические и радиогидрогеологические исследования. Виды и объемы геолого-геофизических работ и транспортные средства, применяемые на различных этапах, имеют свою специфику в районах с различными природными условиями и степенью изученности.

Автомобильная гамма-спектрометрическая съемка. Названная съемка выполняется с помощью станций АГС-3, АГС-4 и РС-300. В ряде случаев в качестве автомобильных гамма-спектрометров используется модернизированная переносная или аэрогамма-спектрометрическая аппаратура.

Благоприятными районами для проведения съемки являются равнинные, холмистые, слабозалесенные территории с углами уклона рельефа до 5—8° и с хорошей обнаженностью коренных пород, а также площади, закрытые элювиально-делювиальными отложениями, в которых развиты ореолы рассеяния урана (радия), выходящие на дневную поверхность.

Автомобильная гамма-спектрометрическая съемка проводится в маршрутном и площадном исполнении. Маршрутная съемка применяется в основном при рекогносцировочных исследованиях. В настоящее время автомобильная гамма-спектрометрическая съемка редко выступает как самостоятельный вид поисков: как правило, она используется при комплексном изучении перспективных участков в сочетании с другими исследованиями (геологическими, геохимическими, геофизическими и горно-буровыми работами). Кроме того, указанная съемка широко применяется в благоприятных условиях наземными отрядами аэропартий с целью отыскания аномальных участков на местности и оперативной их детализации.

При поисках месторождений урана используется преимущественно масштаб 1:25 000. На площадях с установленной ураноносностью, а также при детализации аномальных участков, выявленных при АГСМ-работах, съемка проводится в масштабе 1:10 000—1:5 000, реже 1:2 000. Средняя скорость движения станции по маршруту 7—10 км/ч.

Привязка рекогносцировочных маршрутов осуществляется с помощью топокарт и фотоснимков. Для площадных съемок, как

правило, заранее готовится топографическая сеть, состоящая из магистралей, ориентированных по простиранию предполагаемых ураносных структур и горизонтов. Заезды станции выполняются между двумя соседними магистралями перпендикулярно к ним. Расстояние между магистралями в зависимости от характера рельефа 0,5—2,5 км. В ряде случаев для привязки маршрутов используется топопривязчик ТМГ, устанавливаемый в салоне станции.

Перед производством полевых работ выполняется градуирование автогамма-спектрометра на специальных, насыщенных по гамма-излучению, моделях, при этом одновременно проводятся также измерения с малыми рабочими моделями, используемыми в дальнейшем для контроля градуировки гамма-спектрометров в полевых условиях. Канал общего счета градуируется стандартным радиевым источником.

Съемка с автомобильной гамма-спектрометрической станцией начинается с заезда по контрольному маршруту. Во время движения станции оператор контролирует работу прибора, следит за записью показаний гамма-спектрометра, геологической обстановкой на маршруте (профиле), характером обнаженности, отмечает на ленте начало и конец маршрута, его номер и характерные ориентиры. При выявлении аномальной записи оператор останавливает станцию и выполняет повторный заезд аномалии с пониженной скоростью движения (до 3—5 км/ч). После подтверждения и уточнения положения аномалии осуществляется ее детализация с целью выяснения площадных размеров и нахождения эпицентра аномалии. Вопрос о детализации аномалий, выявленных при съемках масштаба 1 : 10 000 и крупнее, решается после завершения съемки. Обязательным условием при детализации является установление природы радиоактивности выявленной аномалии. При этом природа всех неспектрометрируемых в движении аномалий определяется при экспозиционных измерениях с установкой детектора станции в точке с максимальной радиоактивностью. Выявленные аномалии отмечаются на местности каменными турами, вешками, фиксируются на топокарте; из пород с максимальной радиоактивностью отбираются пробы для анализов. В конце рабочего дня снова выполняется заезд по контрольному маршруту, результаты измерений по которому в дальнейшем используются для увязки данных на площади работ.

Контроль качества осуществляется путем повторных заездов по профилям в объеме 5—10 % от объема выполненных работ. Относительная средняя квадратическая погрешность измерений не должна превышать ± 10 %. При проведении работ в новых районах за нижний предел аномалии, подлежащей детализации, обычно принимают значения в общем и урановом каналах, превышающие максимальное значение флюктуации прибора в нормальном поле в 2—3 раза и более. При наличии материалов, характеризующих распределение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и концентраций урана (радия), нижний предел аномаль-

ных значений определяется соответствующей статистической обработкой данных для всех разновидностей пород в исследуемом районе.

Обработка результатов автомобильной гамма-спектрометрической съемки обычно осуществляется в два этапа. На первом этапе первичной обработки материалов просматриваются ленты, расшифровываются записи, выполненные во время съемки, вносятся поправки на вариации по результатам измерений на контрольном маршруте, проводится осреднение записей на ленте, отвечающих участкам пород с нормальной радиоактивностью, выделяются аномалии с учетом показаний всех каналов гамма-спектрометра, проводится разметка ленты по пикетажу, устраняются невязки по расстояниям на смежных профилях, вызванные изменением движения станции.

Окончательная обработка материалов включает оцифровку измерений на ленте (в пА/кг) единиц концентраций радиоактивных элементов, исправление инерционных искажений и построение карт (графиков) мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и концентраций урана (радия), тория и калия. Дополнительно для аномальных записей, выделенных в результате съемки, определяется ширина аномалии по линии заезда (по ширине аномальной записи на половине ее интенсивности). Путем статистического расчета устанавливаются средние содержания урана (радия), тория и калия и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения всех разновидностей горных пород, определяются значения дисперсии и нижние пределы аномальных значений.

Материалы автогамма-спектрометрической съемки используются для составления карт, являющихся основой для последующего прогнозирования и направления поисковых работ более крупного масштаба.

Пешеходные гамма-поиски. К ним относятся геологорadiометрические поиски, площадная и спектрометрическая гамма-съемка, широко используемые при поисках месторождений урана, а также для геологического картирования.

К несомненным достоинствам пешеходных гамма-поисков следует отнести прежде всего простоту проведения этих видов работ во всех геолого-ландшафтных условиях, наличие достаточно чувствительной портативной аппаратуры, относительно низкую стоимость их проведения, возможность оперативного комплексирования методов в зависимости от природных условий ведения поисков. Кроме того, при проведении этих работ осуществляется непрерывная оценка с помощью телефонов уровня мощности экспозиционной дозы гамма-излучения пород по маршрутам и профилям и оперативная оценка выявляемых аномалий.

Вследствие недостаточной глубинности гамма-поисков, обусловленной значительным ослаблением гамма-излучения от рудных тел и их ореолов рыхлыми отложениями, применение гамма-поисков целесообразно на площадях, закрытых аллохтонными образованиями мощностью до 0,5 м. При условии развития на площади

поисков рыхлых отложений, в которых фиксируются открытые вторичные ореолы рассеяния урана, глубинность гамма-поисков может достигать 2—3 м и более.

С целью выбора рационального комплекса поисковых работ предварительно на всю площадь исследований составляется карта природных условий ведения поисков. Как правило, она создается при выполнении прогнозно-геологических работ, предшествующих поискам. На карте отображается геолого-геоморфологическое и ландшафтное строение изучаемой территории, приводятся данные о мощности, составе и характере рыхлых образований, глубине представительного горизонта.

Поисковые маршруты проектируются вкрест простирания геологических структур или зон тектонических нарушений, потенциально контролирующих оруденение. Масштаб определяется в основном задачами выполняемых геологических работ: при прогнозно-геологических исследованиях гамма-поиски ведутся в масштабе 1:200 000—1:50 000, собственно поиски месторождений урана выполняются в масштабе 1:25 000 (1:50 000). Детальные съемки масштаба 1:10 000 выполняются на площадях, непосредственно примыкающих к месторождениям урана, или на перспективных участках геологических структур и металлогенических зон. Работы в масштабе 1:5000 и крупнее проводятся на ограниченных площадях с целью оконтуривания выявленных аномалий, установления связей аномальных значений радиоактивности с геологическими образованиями, зонами, структурами, для выбора мест заложения горных выработок (скважин).

В настоящее время при гамма-поисках используются в основном радиометры СРП-68-01 (измерение на поверхности пород) и СРП-68-02, СРП-68-03 (измерение в скважинах и шпурах). Регистрация показаний радиометров при измерениях мощности экспозиционной дозы гамма-излучения пород ведется в делениях шкалы соответствующего диапазона аналогового измерительного прибора, которые в дальнейшем переводятся в соответствии с результатами градуировки в единицы мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, пА/кг.

Перед градуировкой аппаратуры выполняется соответствующая настройка прибора, основной операцией при которой является установка энергетического порога регистрации гамма-излучения в пределах $3,2 \pm 0,8$ фДж (20 ± 5 кэВ). Основная градуировка радиометров выполняется перед началом полевых работ, после чего приборы проходят метрологическую поверку ведомственной метрологической службы в соответствии с утвержденными стандартами на методы и средства поверки сцинтилляционных приборов для измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения. Градуировка и поверка в лабораторных условиях с применением стандартных образцовых источников гамма-излучения осуществляется на установках УПЛ-1 (УПГД). Контрольная градуировка приборов выполняется в начале и конце полевого сезона на установках «открытой геометрии» на ровной площадке, вдали

от зданий, сооружений, выступов коренных пород. Для устранения влияния рассеянного гамма-излучения под блок детектирования прибора устанавливается свинцовый экран размером 30×30 см и толщиной 2—4 мм.

Для контроля за стабильностью работы прибора в полевых условиях используются измерения активности источника кобальт-60, входящего в комплект прибора. Эти измерения выполняются ежедневно перед началом, во время и после окончания работ. Результаты показаний прибора при измерении активности источника кобальт-60 с учетом естественного фона точки измерений сравниваются с показаниями прибора, полученными при его градуировке. При установлении существенных отклонений (более 10 %) радиометр отправляется на ремонт и повторную градуировку.

Перед началом полевых работ определяется сходимость показаний используемых радиометров между собой. Для этого всеми приборами выполняются измерения на контрольном профиле, обеспечивающем постоянство погрешности измерений. Число точек измерений должно быть не менее 30. В результате обработки данных определяется значение систематической погрешности отдельных приборов, учитываемое впоследствии при обработке сводного материала.

Геолого-радиометрическая съемка. Эта съемка широко используется как при поисках промышленных месторождений урана, так и при геологических исследованиях, имеющих целью уточнение геологического строения исследуемого района и выявление другого оруденения.

Поисковые маршруты выполняются геологом в сопровождении оператора-радиометриста. Привязка маршрута производится визуально по имеющимся ориентирам с использованием топокарт и аэрофотоснимков. Поиски выполняются путем непрерывного прослушивания оператором уровня мощности экспозиционной дозы гамма-излучения с помощью телефона радиометра. При прослушивании скорость движения оператора по маршруту не должна превышать 1—2 км/ч. Фиксированные измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения выполняются в точках геологических наблюдений, а также по маршруту. Плотность точек наблюдений по маршруту определяется масштабом поисков и сложностью геологического строения изучаемой территории (табл. 6).

ТАБЛИЦА 6

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ТОЧКАМИ, м, И ИХ ЧИСЛО НА 1 км²

Масштаб	Рядовые измерения	Измерения в пределах зон изменений и при смене состава пород	Число
1 : 200 000	100	} Не более 20	10—20
1 : 100 000	50		50—70
1 : 50 000	50		100—150
1 : 25 000	50		150—200

При измерениях мощности экспозиционной дозы гамма-излучения пород блок детектирования прибора прикладывается вплотную к обследуемой поверхности, за показания прибора принимается отсчет по шкале прибора через интервал времени, превышающий утроенное значение постоянной времени радиометра.

По маршруту и в полосе 50—100 м от него радиометром обследуют все доступные обнажения коренных пород, горные выработки или их отвалы, осыпи, свалы, крупные валуны. Наиболее внимательно, тщательно прослушивая уровень мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и сгущая фиксированные измерения, изучают зоны разломов, трещин (особенно в местах их сопряжений, где наблюдаются катаклиз, лимонитизация, хлоритизация, гематитизация, флюоритизация, пиритизация и другие изменения системы вторичных трещин) и скальвания, лагунные и речные отложения, обогащенные битумами, фосфором и растительными остатками, а также участки, на которых установлены прямые и косвенные признаки ураноносности, характерные для изучаемого района.

При выявлении аномальной радиоактивности, подтвержденной повторными измерениями, маршрут прерывается и выполняется детализация аномалии, имеющая целью выяснение ее размеров, геологической позиции и перспективности. Выявленные точки с максимальной радиоактивностью закрепляются на местности турами, вехами, засечками. Все результаты измерений по маршрутам с необходимыми пояснениями заносятся оператором в радиометрический журнал; в геологическом дневнике геологом фиксируются, как правило, лишь измерения, выполненные на точках наблюдений, а также в случае выявления аномальных приращений гамма-активности. Контрольные наблюдения выполняются в объеме 5 % и располагаются равномерно по всей площади работ. Относительная средняя квадратическая погрешность измерений не должна превышать $\pm 10\%$.

Обработка результатов гамма-поисков заключается в переводе показаний прибора, выраженных в делениях шкалы, в пикоамперы на килограмм с последующим вынесением их на радиометрическую карту, выполняемую в виде накладки на геологическую карту. В дальнейшем статистическим путем определяются основные параметры распределения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения для всех разновидностей пород, развитых в районе.

Площадная гамма-съемка. Площадные гамма-съемки масштаба 1:10 000—1:2000 (реже 1:25 000—1:50 000) выполняются обычно по предварительно разбитой топографической сети на полунструментальной основе на площадях, непосредственно прилегающих к месторождениям или рудопроявлениям урана (табл. 7).

Как правило, площадная гамма-съемка проводится совместно с выполнением геологического картирования того же масштаба или на масштаб мельче.

ТАБЛИЦА 7

РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПРОФИЛЯМИ И ТОЧКАМИ ИЗМЕРЕНИЙ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАСШТАБА СЪЕМКИ

Масштаб	Расстояние между профилями, м	Расстояние между точками, м
1 : 50 000	500	20—50
1 : 25 000	250	10—20
1 : 10 000	100	5—10
1 : 5 000	50	5
1 : 2 000	20	2

Измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения пород выполняются в строго фиксированных точках профилей с прослушиванием уровня радиоактивности между точками с помощью телефона. Остальные требования к методике выполнения гамма-съемки аналогичны требованиям к методике при маршрутных гамма-поисках.

Шпуровая гамма-съемка. Выполняется съемка на площадях, перекрытых рыхлыми отложениями мощностью до 1 м или элювиально-делювиальными образованиями большей мощности, в которых ореолы рассеяния радиоактивных элементов резко ослаблены и не фиксируются на поверхности при проведении обычной гамма-съемки. В этих условиях осуществляется измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения радиометрами СРП-68-03 (02) в шпурах глубиной 0,8—1 м, проходимых вручную. Измерения производят на забое шпура, при обнаружении аномальной активности их выполняют через 10 см. Глубина шпуров в общем случае определяется глубиной залегания представительного горизонта или глубиной нахождения достаточного поискового уровня, под которым понимают уровень уверенного обнаружения ореолов рассеяния аппаратурой. При расположении представительного горизонта под рыхлым покровом значительной мощности ореолы рассеяния радиоактивных элементов выявляются путем проходки и последующего каротажа глубоких шпуров. Как правило, глубинная шпуровая съемка проводится в промышленно освоенных рудных районах и является одним из видов комплекса работ при глубинных поисках погребенных месторождений урана. При глубинных поисках кроме гамма-каротажа шпуров (скважин) выполняется опробование шлама (керн) в интервалах представительного горизонта.

В случае применения для каротажа приборов СРП-68-02 (03) с точечной регистрацией измерения выполняются через 0,5—1 м в нормальном поле и через 0,1 м в интервалах с аномальной радиоактивностью при обязательном прослушивании уровня мощности экспозиционной дозы пород с помощью телефонов.

Контроль за качеством шпуровых гамма-поисков осуществляется путем систематических контрольных измерений в объеме 3—5 %.

Относительная средняя квадратическая погрешность по результатам контрольных измерений не должна превышать $\pm 10\%$. Обработка результатов шпуровой гамма-съемки заключается в построении планов графиков изменения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на забое шпуров и выделении участков, перспективных для постановки детальных оценочных работ.

Спектрометрическая гамма-съемка. Эта съемка выполняется с целью выявления закономерностей распределения радиоактивных элементов в горных породах. Съемка проводится переносными спектрометрами типа СП-4, СП-3М и РКП-305 (СП-5).

При спектрометрической гамма-съемке концентрации радиоактивных элементов: урана (радия), тория, калия — в точке наблюдения определяются с помощью приборов СП-4 и СП-3М измерением количества импульсов за единицу времени в определенных, последовательно устанавливаемых дифференциальных каналах с последующим вычислением концентраций вручную, по формулам и номограммам, или на ЭВМ. В приборе РКП-305 результаты измерений концентрации радиоактивных элементов выражаются в цифровой форме без дополнительных пересчетов. За счет автоматической регулировки усиления и встроенного вычислительного устройства обеспечивается более высокая по сравнению с приборами СП-4 производительность работ (200—250 точек в смену).

Выбор оптимальных энергетических интервалов, расчет спектральных коэффициентов осуществляются путем настройки и градуировки спектрометра на насыщенных рудных моделях урана (радия), тория и калия и фоновой модели. В полевых условиях контроль за стабильностью работы гамма-спектрометров проводится с помощью переносных моделей, измерения на которых тщательно сбиваются с измерениями, выполненными при градуировке приборов на насыщенных моделях.

Ежедневно перед началом работ оператор на контрольной точке измеряет приращения скоростей счета в рабочих каналах от ториевой рабочей модели с целью оценки стабильности работы прибора. К работе допускаются приборы, у которых показания отличаются от средних значений не более чем на 5% .

На пунктах измерений оператор проводит контрольную настройку усиления приборов по реперному источнику цинк-65 (для прибора СП-4 эта операция проводится через каждые 30 мин, а для прибора СП-3М — на каждой точке измерения) и измеряет скорости счета в рабочих каналах. Время измерений выбирается в зависимости от содержания радиоактивных элементов и требуемой точности определения концентраций.

Пункты измерений выбираются обычно в пределах ровной площадки не менее 1 м^2 , где исключается возможность бокового гамма-излучения близкорасположенных выступов коренных пород. При измерениях в условиях сложной геометрии (поверхностные горные выработки, локальные формы рельефа) в расчеты концентраций вводятся соответствующие поправочные коэффициенты в зависимости от условий измерений [Инструкция по проведе-

нию наземных гамма-спектральных измерений приборами СП-3М и СП-4, 1972 г.]. Запрещается проведение гамма-спектрометрических измерений во время дождя и в течение 3 ч после его окончания для исключения влияния гамма-излучения продуктов распада радона, выпадающих вместе с дождем.

Для оценки полевой точности гамма-спектрометрической съемки выполняются контрольные измерения (5 % от общего объема работ). Относительная средняя квадратическая погрешность измерений не должна превышать ± 15 % для средних и высоких содержаний и ± 30 для низких содержаний.

В результате обработки материалов гамма-спектрометрической съемки строятся поэлементные карты изоконцентраций или графики распределения концентраций урана (радия), тория и калия по отдельным характерным профилям. Данные измерений по каждой разновидности пород обрабатываются обычными методами математической статистики с целью установления закономерностей в распределении радиоактивных элементов.

Радиометрическая документация горных выработок. Все горные выработки (наземные и подземные), проходимые с целью геологического картирования, поисков и разведки, подвергаются радиометрической документации, выполняемой преимущественно с помощью приборов СРП-68-01. Радиометрическая документация горных выработок проводится совместно с их геологической документацией. Фиксированным измерениям предшествует изучение уровня радиоактивности стенок (полотна) выработок с помощью телефона. При прослушивании отмечаются участки аномальной радиоактивности и определяется общий характер гамма-поля. При отсутствии аномальных значений гамма-излучения измерения проводятся по сети 1×1 м (1×5 м), в пределах участков с аномальными значениями измерения выполняются по сети $0,2 \times 0,2$ м ($0,1 \times 0,1$ м). Измерения производятся по одной стенке и полотну выработки (уступы, расчистки, карьеры), по двум противоположным стенкам и полотну выработки (канавы, траншеи), по стенкам и кровле (подземные горные выработки), по четырем стенкам (стволы шахт и другие вертикальные выработки), по четырем стенкам и дну (шурфы).

Расположение точек наблюдений на плоскостях выработок выбирается таким образом, чтобы были охарактеризованы все вскрытые разновидности пород. Особенно тщательно измерения проводятся в зонах минерализации, дробления, на участках гидротермальных изменений пород, развития даек, жил, тектонических нарушений, на контактах пород.

При документации горных выработок, вскрывающих породы с высокой радиоактивностью — более $7,2$ пА/кг (100 мкР/ч), с целью уменьшения влияния гамма-излучения окружающих пород используются специальные свинцовые цилиндрические экраны, надеваемые на блоки детектирования радиометров. В настоящее время при документации горных выработок используются и переносные гамма-спектрометры, особенно при вскрытии выявленных

радиоактивных аномалий. Контрольные наблюдения выполняются в объеме 5 %, относительная средняя квадратическая погрешность не должна превышать ± 10 %. Результаты измерений наносятся (в виде цифровых данных или изолиний) на специальную накладку (кальку), которая совмещается с геологическим планом горной выработки.

Гамма-каротаж скважин. Каротаж является в настоящее время ведущим методом скважинных исследований. Гамма-каротаж выполняется специализированной каротажной сцинтилляционной аппаратурой типа ПРКС-2, ПКС-1000, ПРМК-102 и УКП-77. Для каротажа мелких картировочных скважин используются также приборы СРП-68-02(03).

Результаты гамма-каротажа при массовых поисках используются для обнаружения радиоактивных аномалий, определения мощности рудных тел, глубины их залегания и концентраций в них урана; гамма-каротаж подразделяется на литологический (ГК_{лит}) и количественный (ГК_{кол}), выполняемый двумя блоками детектирования, помещенными в одном скважинном приборе. При поисковом каротаже (ГК_{лит}) используется стандартный блок детектирования, гамма-каротаж рудных интервалов для определения их количественных параметров ведется блоком детектирования, экранированным калиброванным свинцовым экраном.

Для обеспечения достоверности материалов гамма-каротажа применяемая каротажная аппаратура подвергается тщательной настройке, основной операцией в которой является установка энергетического порога регистрации на уровне $3,2 \pm 0,8$ фДж (20 ± 5 кэВ) с помощью моноэнергетических источников гамма-излучения (таллий-204, америций-241).

Градуировка аппаратуры выполняется ежемесячно; для контроля стабильности работы приборов перед началом и в конце каротажа проводится проверка их чувствительности с помощью специальных контрольных источников — металлических двустенных герметизированных цилиндров, заполненных радиоактивным материалом; кроме того, один раз в месяц проверяется правильность нанесения мерных меток на кабеле.

Перед проведением гамма-каротажа на скважине буровая бригада промывает ствол скважины глинистым раствором, прекращает все работы, не связанные с каротажом, и представляет оператору-каротажнику акт готовности скважины для проведения каротажа, в котором приводятся основные сведения о ее состоянии (наличии уступов, обвалов, места прихватов инструмента и др.).

Перед каротажом скважины проверяют работоспособность аппаратуры, выполняют необходимые контрольные операции. Спуск скважинного прибора в скважину производят со скоростью не более 2000 м/ч, осуществляя при этом контроль за изменением скорости счета импульсов с помощью телефона или самописца. При обнаружении аномальных значений скорость спуска уменьшают до 200 м/ч для фиксации глубины залегания аномалии и мощности экспозиционной дозы. При подходе скважинного прибора к за-

бою скорость спуска снижают до 50 м/ч. Время остановки на забое, во время которого прибор подготавливается к каротажу, не должно превышать 1 мин во избежание прихвата снаряда.

Каротаж скважины выполняется при подъеме скважинного прибора при скорости лентопротяжного механизма, соответствующей масштабу 1:200 (скважины глубиной до 500 м), 1:500 (до 1000 м) и в 1:1000 (более 1000 м). Скорость подъема скважинного прибора в общем случае определяется размерами применяемого кристалла NaI(Tl) и постоянной времени прибора. При постоянной времени прибора от 1 до 2,5 с скорость подъема снаряда не должна превышать 500 м/ч при использовании приборов ПРКС-2, ПКС-1000 и ПРМК-102 и 1000 м/ч при использовании прибора УКП-77. Детализация аномалий выполняется в масштабах 1:50—1:20 при скорости подъема 60—200 м/ч в зависимости от диапазона измерений и значений τ (приборы ПРКС-2, ПКС-1000 и ПРМК-102); скорость подъема скважинного прибора УКП-77 при использовании кристалла NaI(Tl) размером 70×70 мм не должна превышать 180 м/ч, а с кристаллом 30×40 мм—150 м/ч. Детализации подвергаются аномалии, мощность экспозиционной дозы которых превышает 3,6 пА/кг (50 мкР/ч). При установлении на площади работ нарушения радиоактивного равновесия указанное значение корректируется.

Гамма-каротаж интервалов с аномальными значениями мощности экспозиционной дозы гамма-излучения выполняют в следующем порядке: при подходе скважинного прибора к аномальному интервалу, выделенному при спуске, подъем прекращают. Затем включают необходимый для регистрации мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на данном интервале диапазон канала ГК_{кол} и вновь продолжают подъем. При выходе из аномальной зоны скважинный прибор после достижения ближайшей метки останавливают, отключают лентопротяжный механизм и для проведения детальной записи в масштабе 1:50 (1:20) скважинный прибор возвращают к началу аномальной зоны.

В ряде случаев, особенно при каротаже мелких поверхностных и подземных скважин, используется точечный каротаж. При отсутствии аномальных значений радиоактивности измерения выполняются через 0,5—1 м, в пределах аномальных интервалов—через 0,1—0,05 м. Отсчет берется не ранее, чем через время 3τ после остановки прибора.

Для оценки погрешности измерений проводится контрольный каротаж скважин, выполняемый, как правило, другим прибором (аналогичного типа) и более опытным специалистом. Контрольный каротаж в отдельных случаях может быть заменен измерениями на специально оборудованной контрольной скважине, проводимыми не реже одного раза за период между градуированием аппаратуры. Объем контрольного каротажа составляет 10% от основного, при этом контрольным каротажом должно быть охвачено не менее 30% рудных (или аномальных) интервалов с различными концентрациями урана. Контрольный каротаж проводится

равномерно по площади исследований и через равные промежутки времени. Погрешность измерений на скважине определяют сравнением площадей каротажных диаграмм основного S_0 и контрольного S_K гамма-каротажа.

При использовании контрольной скважины относительную погрешность, %, подсчитывают по формуле

$$\delta = \sqrt{(1/N) \sum_{i=1}^N (S_K^i - S_K)^2 / S_K} \cdot 100,$$

где S_K^i — площадь гамма-аномалии при i -м контрольном каротаже; N — число каротажей; S_K — паспортные значения площади гамма-аномалии в контрольной скважине. Результаты отдельных измерений S_K^i не должны отличаться от паспортных значений S_K более чем на 7 %. Относительная погрешность при $N > 20$ не должна превышать 5 %.

При проведении контрольного каротажа на производственных скважинах относительную среднюю квадратическую погрешность, %, подсчитывают по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_0^i - S_K^i}{S_0^i + S_K^i} \right)^2} \cdot 100,$$

где S_0^i и S_K^i — соответственно площади аномалий при основном и контрольном каротаже; N — число пар измерений. Значение δ при $N > 20$ не должно превышать 7 %.

Для уточнения результатов количественного гамма-каротажа проводится опробование керна скважин. Выбор интервалов опробования осуществляется проведением совместной геологической и радиометрической документации керна скважин, выполненной как радиометрами на газоразрядных счетчиках (приборы «Прогноз»), так и с помощью поисковых приборов СРП-68-01. Методика радиометрических измерений заключается в следующем. Сначала определяется радиоактивность керна прослушиванием скорости счета импульсов при медленном перемещении блока детектирования прибора по оси керна; в интервалах с фоновой радиоактивностью фиксированные измерения выполняются через 1 м, на аномальных интервалах — через 0,1 м, причем в последнем случае керн извлекается из ящика и измеряется поинтервально с двух противоположных сторон.

Предварительная обработка результатов гамма-каротажа заключается в разбивке оси глубин на диаграммах на интервалы, кратные 5 или 10 м, определении масштаба по оси интенсивности и снятия копии каротажной диаграммы на бланк геологической колонки скважины.

При использовании результатов гамма-каротажа для количественной интерпретации графическим (ручным) способом выяв-

ленные аномалии перестраиваются на миллиметровке. Масштаб по оси глубин обычно принимается равным 1:50—1:20, а по оси интенсивности с таким расчетом, чтобы аномалия укладывалась в пределах 10—20 см, а ее площадь была не менее 5 см². На миллиметровку выносятся сведения о диаметре скважины, диаметре скважинного прибора, плотности промывочной жидкости, толщине обсадных труб, коэффициенте радиоактивного равновесия между ураном и радием, радием и радоном, о концентрации тория, о плотности и влажности руд, об угле встречи скважины с рудным телом.

В случае применения для интерпретации результатов гамма-каротажа ЭВМ интервалы гамма-каротажа, подлежащие интерпретации, оцифровываются с шагом 10 см и вводятся в машину вместе с информацией, необходимой для учета всех поправок. Указанные исходные данные в дальнейшем обрабатываются на ЭВМ по соответствующей программе.

В основу количественной интерпретации положена зависимость площади аномалии от мощности рудного интервала по стволу скважины и средней концентрации в нем урана C :

$$S = KhC,$$

где K — пересчетный коэффициент, численно равный мощности экспозиционной дозы гамма-излучения насыщенного пласта с содержанием в нем 0,01 % равновесного урана; h — мощность рудного тела.

Методика количественной интерпретации подробно изложена в Инструкции по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений [1974 г.] и в Дополнениях к инструкции по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений [1981 г.].

Металлометрические методы. Ореольная уранометрическая съемка. Этот вид съемки применяется на различных этапах поисков и разведки урановых месторождений: при средне- и крупномасштабных прогнозно-геологических исследованиях, при детальном поисках и оценке выявленных радиоактивных объектов, при предварительной и детальной разведке. Она проводится для выявления ореолов урана с резко нарушенным в сторону урана радиоактивным равновесием, которые не могут быть обнаружены радиометрическими методами, и для определения концентраций элементов-спутников с целью выявления скрытых и слабо проявленных урановых месторождений.

При средне- и крупномасштабных прогнозно-геологических работах, особенно в районах с плохо развитой гидросетью, где метод донных осадков практически неприменим, а также при детальном поисках выполняется площадное уранометрическое опробование выходящих на поверхность коренных пород, кор выветривания или рыхлых образований. Предпочтение отдается опробованию коренных пород, при котором получается почти неискаженная информация о развитии в районе первичных и остаточных вторичных

ореолов урана и его элементов-спутников. Особое внимание обращается на опробование пород с гидротермально-метасоматическими изменениями, зон дробления и других геологических тел, имеющих важное поисковое значение. Основным недостатком является неравномерность съемки изучаемой площади вследствие ограниченности выходов коренных пород.

Опробование кор выветривания и автохтонных рыхлых образований, выполняемое по несколько разрозненной сети, позволяет выявлять вторичные ореолы рассеяния уранового оруденения. Однако переход от вторичных к первичным ореолам и собственно к урановому оруденению связан, как правило, с выполнением больших объемов горных и буровых работ. Площади, перекрытые аллохтонными рыхлыми отложениями, покрываются уранометрической съемкой только тогда, когда доказана возможность развития в этих отложениях представительных вторичных ореолов. На практике опробуются все встречающиеся в маршруте породы. На участках с мощным чехлом рыхлых отложений шаг опробования значительно разрежается. Обычно он выбирается с таким расчетом, чтобы зафиксировать ореол урана по профилю в 2—3 точках. Ниже приведена ориентировочная сеть площадного опробования.

Масштаб съемки	Сеть отбора проб, м
1 : 200 000	2000 × 100
1 : 50 000	500 × 50
1 : 25 000	250 × 50 (25)
1 : 10 000	100 × 25 (10)

При детальном поиске (масштаб 1 : 25 000 и крупнее) и оценке выявленных радиоактивных объектов особое внимание уделяется опробованию коренных пород, вскрываемых горными выработками и скважинами. А при предварительной и детальной разведке оно является основным видом металлотрических поисков новых рудных залежей.

Отбор проб по коренным породам, выходящим на поверхность или вскрытым горными выработками и буровыми скважинами, проводят путем точечной отбойки нескольких мелких (20—30 г) кусочков, отстоящих друг от друга на расстоянии от 0,5 до 2 м (метод пунктирной борозды). Масса пробы не должна превышать 150—200 г. При бескерновом бурении скважин опробование может быть проведено по шламу с помощью различных шламоуловителей.

При опробовании кор выветривания и рыхлых отложений пробы отбираются на каждом пункте наблюдения из закопшек и лунок. Оптимальная глубина отбора проб устанавливается опытным путем или принимается исходя из опыта предыдущих исследований в пределах известных урановородных объектов и аналогичных ландшафтно-климатических условиях. Обычно она составляет 20—50 см (при большей глубине залегания представительного горизонта проводятся глубинные поиски). Нередко отбор проб сопровождается радиометрическими измерениями в закопшках и лун-

ках. В пробу отбирается мелкая (меньше 1,0 мм) фракция, наиболее точно характеризующая содержание урана в данной точке. Масса пробы примерно 100 г.

Все пробы, отобранные при ореольной уранометрической съемке, подвергаются соответствующей обработке, а затем рентгеноспектральному (люминесцентному, химическому) и спектральному анализам на уран, радий, торий, элементы-спутники урана, а также другие элементы с целью комплексной оценки металлоносности изучаемой площади.

Статистическая обработка материалов площадной уранометрической съемки осуществляется в основном с помощью ЭВМ; при этом определяются фоновые содержания различных элементов для каждой из групп пород, устанавливается структура корреляционных связей между элементами, выделяются области привноса и выноса урана, аномальные зоны и участки с повышенным содержанием других элементов, проводится геохимическое районирование территории и т. д. Результаты съемки используются для составления радиогеохимической и полиэлементной геохимической карт и последующего металлогенического анализа.

Уранометрическая съемка гидросети (метод донных осадков). Съемка применяется в районах с развитой гидрографической сетью для выявления потоков рассеяния урана и его элементов-спутников при исследовании мелкой илесто-глинистой фракции, богатой органическими соединениями (донных осадков), русловых отложений рек, ручьев и временных водотоков. Обычно она проводится в комплексе с другими поисковыми работами. Эффективность и достоверность этой съемки для различных регионов различны и во многом зависят от ландшафтно-климатических условий.

Сеть наблюдений определяется степенью развития речной системы, размером и интенсивностью потоков рассеяния, задачей, масштабом и комплексом исследований. Съемка планируется таким образом, чтобы обеспечить наиболее равномерное и полное изучение территории. При региональных исследованиях масштаба 1:1 000 000, задачей которых является выделение перспективных площадей, отвечающих урановорудным провинциям или крупным рудным районам, опробование донных осадков комплексировано с опробованием жидкого стока рек. За рубежом при этом дополнительно в точке наблюдения отбираются уранометрические пробы коренных пород или элювиально-делювиальных отложений, а также опробуются различные растения. Средняя плотность опробования — 1 проба на 100 ± 20 км².

При средне- и крупномасштабных прогнозно-геологических исследованиях (1:200 000—1:50 000) опробование донных осадков гидросети часто комбинируется с уранометрической съемкой заболоченных, пониженных, а также склоновых частей рельефа. Эффективными также бывают различные сочетания объектов опробования, например донных осадков и водных источников. В результате этих работ выявляются как области развития потоков рас-

сеяния, так и отдельные крупные потоки рассеяния урана и его элементов-спутников. Расстояние между изучаемыми руслами водотоков приблизительно соответствует расстоянию между маршрутами при геологической съемке тех же масштабов. Шаг отбора проб 100—500 м, плотность опробования 1—20 проб на 1 км².

Пробы отбираются из наиболее мелкого и по возможности однородного материала донных осадков. В полевом дневнике отмечается характер взятой пробы (ил, глинистый осадок, мелкий песок) и присутствие в исследуемом осадке органических соединений, гидроокислов железа и др. Масса пробы зависит от крупности материала и колеблется от 100 до 200 г (из расчета, что фракция менее 1 мм должна весить около 100 г).

Изотопно-свинцовый метод. В природе встречаются четыре изотопа свинца: ²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb и ²⁰⁸Pb. Первый из них имеет нерадиогенное происхождение. Последующие три являются конечными продуктами распада соответственно ²³⁸U, ²³⁵U и ²³²Th. Среднее фоновое соотношение их во вмещающих породах — 1,3 : 25,3 : 21,3 : 52,1. В отличие от урана, который часто выносятся из приповерхностной зоны, радиогенный свинец имеет тенденцию к накоплению. Изотопно-свинцовый метод заключается в лабораторном определении свинца в пробах и последующей интерпретации полученных результатов.

С помощью этого метода проводятся как предварительная оценка радиоактивных аномалий, так и поиски урановых месторождений, выщелоченных с поверхности. Наличие повышенных концентраций радиогенного свинца (²⁰⁶Pb) в пределах радиоактивной аномалии говорит о древнем возрасте ее и, наоборот, отсутствие радиогенной добавки указывает на современную аккумуляцию урана в данном участке. С другой стороны, высокие содержания свинца-206 при отсутствии с поверхности повышенных урановых концентраций позволяют выделять зоны выноса урана и проектировать последующую оценку выделенных зон на глубину.

Значение радиогенной добавки определяется по формуле

$$^{206}\text{Pb}_{\text{ан}} = 1,07 \text{Pb}_{\text{вал}} [a_{206} - (a_{206}^0/a_{207}^0) a_{207}],$$

где $\text{Pb}_{\text{вал}}$ — валовое содержание свинца в пробе по данным рентгеноспектрального анализа; a_{206} , a_{207} — долевые содержания ²⁰⁶Pb и ²⁰⁷Pb в пробе; a_{206}^0 , a_{207}^0 — долевые содержания тех же изотопов в пробах с фоновыми содержаниями.

По значению этой добавки может быть рассчитано примерное первичное содержание урана в объеме пробы, если известно время образования урановой минерализации:

$$U_{\text{перв}} = 1,16K^{208} \text{Pb}_{\text{ан}},$$

где K — коэффициент, зависящий от времени урановой минерализации.

Время, млрд. лет	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K	74,5	37,1	24,6	18,2	14,5	11,9	10,1	8,82	7,81	6,96

Сравнивая между собой расчетное первичное и фактическое содержание урана в пробе, можно судить о привносе или выносе металла в период, следующий за образованием первичной минерализации.

Соотношение радиогенных изотопов может также свидетельствовать и о природе радиоактивной аномалии: для аномалии урановой природы отношение $(^{206}\text{Pb} + ^{207}\text{Pb})/^{208}\text{Pb} \geq 0,9$ и $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb} \geq 0,51$.

Пробы на изотопно-свинцовый анализ отбираются из коренных пород или рыхлых отложений по отдельным профилям. Шаг отбора проб — 10—40 м, масса — 200—300 г.

Анализы проб производятся изотопно-спектральным методом на установке УИСА-64-М на содержания изотопов ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb и рентгеноспектральным методом на определение содержания валового свинца, урана и тория.

8.4. Радиогидрогеологический метод

Радиогидрогеологический метод поисков урановых месторождений является разновидностью гидрогеохимических методов и заключается в изучении распределения урана, радия, радона и элементов-спутников урана (молибдена, мышьяка, фосфора и др.) в подземных и поверхностных водах путем отбора водных проб и последующего их анализа и выделения на этой основе перспективных площадей. Обычно он применяется в комплексе с другими поисковыми методами: ореольным уранометрическим, донных осадков и др. Данный метод находит широкое применение при региональных (масштаб 1 : 1 000 000—1 : 500 000) гидролитохимических поисках по стоку малых рек. Радиогидрогеологическое опробование буровых скважин, поверхностных горных выработок и естественных водонесточников с успехом выполняется при детальных поисках масштаба 1 : 25 000—1 : 10 000.

Радиогидрогеологические исследования являются неотъемлемой частью поисков бурением экзогенных эпигенетических месторождений урана в артезианских бассейнах платформ. Большое значение при этом придается установлению гидрогеологических условий территории и выяснению общей направленности гидрогеологических процессов, что включает в себя изучение:

— гидрогеологической стратификации геологического разреза с выявлением главных структурно-гидрогеологических этапов развития изучаемой территории;

— структурно-геологического районирования для этапа возможных рудообразующих процессов;

— динамики подземных вод в продуктивной толще (выяснение направления движения рудоформирующих потоков, очагов питания и разгрузки пластовых вод, каналов гидравлической связи водоносных горизонтов, скорости движения вод и др.);

— геохимической зональности подземных вод с данными о минерализации, ионно-солевом и газовом составех, значениях рН и Eh и т. д.

Важнейшее значение при поисках экзогенных урановых месторождений в артезианских бассейнах, связанных с зонами пластового окисления, имеет установление границы распространения кислородсодержащих вод и выявление участков перепада концентраций урана и сопутствующих элементов на границе расходования кислорода. Сопоставление границы распространения кислородсодержащих вод с границей выклинивания рудоконтролирующих зон пластового окисления в водовмещающих породах позволяет оценить значение современных гидрогеологических условий по отношению к прогнозируемому урановому оруденению. При этом возможны случаи соответствия, частичного (неполного) соответствия и несоответствия современных гидрогеологических условий подземных вод рудоконтролирующей окислительно-восстановительной эпигенетической зональности рудовмещающих пород.

Наличие соответствия упомянутых зональностей позволяет осуществить количественный прогноз уранового оруденения. Последний состоит в оценке гидрогеологическими методами количества урана, накопленного в единицу времени на восстановительном геохимическом барьере. Этот простой расчет выполняется с учетом коэффициента фильтрации, гидравлического уклона и перепада концентрации урана в водах до барьера и непосредственно за ним в направлении стока пластовых вод. Таким образом, радиогидрогеологические исследования в артезианских бассейнах позволяют не только выявить экзогенные эпигенетические урановые месторождения, связанные с деятельностью подземных вод, но и оценить их практическое значение.

Главным недостатком радиогидрогеологического метода в его поисковом варианте является то, что наличие повышенных концентраций радиоактивных элементов в водах не всегда указывает на урановое оруденение. Иными словами, обогащение подземных и поверхностных вод радиоактивными элементами зависит не только от абсолютного содержания урана, радия или радона в породах (руда), но и от сочетания многих других факторов: формы нахождения элементов в породе, степени разрушенности минералов и пород, коэффициента их эманирования, химического состава вод, геохимической и гидрогеологической обстановки, мощности и характера зоны окисления, времени соприкосновения воды и породы, рельефа, климата и т. д. Поэтому урановые воды при определенных условиях могут формироваться и в безрудных породах с нормальным (кларковым) содержанием радиоактивных элементов. Нередки случаи, когда в пределах урановых месторождений радиогидрогеологические аномалии отсутствуют. Однако смешанные уран-радон-радиевые воды, как правило, связаны с рудными концентрациями.

В зависимости от видов радиогидрогеологических исследований проводится опробование по существу всех типов водных объектов:

поверхностных водотоков (небольших рек, ручьев), естественных выходов подземных вод, искусственных выработок, вскрывающих подземные воды (буровых скважин, колодцев, поверхностных и подземных горных выработок), реке озер, болот, прудов.

Ориентировочное число точек отбора проб на 1 км² площади в зависимости от масштаба проводимых исследований и сложности геологического строения определено в Инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений [1965 г.] (табл. 8).

ТАБЛИЦА 8

ЧИСЛО ПРОБ НА 1 км² ПРИ ПРОСТОМ (а), СРЕДНЕЙ СЛОЖНОСТИ (б), СЛОЖНОМ (в) ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ

Масштаб	а	б	в
1 : 1 000 000	0,01	0,02	0,03
1 : 500 000	0,04	0,05	0,08
1 : 200 000	0,1	0,15	0,25
1 : 50 000	0,7	1,0	1,6
1 : 10 000			

Примечание. Опробуют все возможные для отбора проб водопроявления, причем расстояние между пунктами отбора проб не должно превышать 1 см на карте соответствующего масштаба.

Пробы отбирают в стеклянные бутылки или пластмассовые канистры (от 0,5 до 5 л) в количестве, необходимом для выполнения нужных определений и с требуемой чувствительностью. Основным условием, которое необходимо соблюдать при отборе проб воды, является чистота посуды, пробок и герметичность упаковки. Следует избегать отбора проб мутных вод. Емкости с пробами, предназначенные для отправки в стационарную лабораторию, заливаются менделеевской замазкой, сургучем или парафином. Для определения содержания урана существующими экспрессными методами требуется не менее 300 мл воды, радия и спектрального анализа сухого остатка — 1 л.

При отборе проб воды для определения содержания радона нельзя забывать, что радон — газ и может легко выделяться из воды при переливании пробы, взбалтывании, повышении температуры и т. п. Поэтому пробы на радон (объем 100 мл) отбираются в специальные сосуды, «промывалки», из которых предварительно вакуумным насосом откачивают воздух.

Кроме определения содержаний урана, радия, радона и элементов, сопутствующих урану, в отобранных пробах определяются ионно-солевой состав и степень минерализации вод, значения pH и Eh, формы железа (Fe^{2+} , Fe^{3+} , $Fe_{общ}$), состав свободных и раст-

воренных газов, и в первую очередь кислород и сероводород.* Важную дополнительную информацию дает также изучение содержания растворенного органического вещества в подземных водах, стабильных изотопов (S, ^{18}O , ^{13}C и др.), изотопов урана и состава микрофлоры. Последние особенно важны при радиогидрогеологическом изучении артезианских бассейнов.

В результате проведения радиогидрогеологических исследований в складчатых областях составляются сводные радиогидрогеологические карты, а для чехлов платформ и межгорных бассейнов — сводные и погоризонтные радиогидрогеологические карты. Основой таких карт масштабов 1 : 1 000 000—1 : 100 000 являются генерализованные геологические карты, для крупномасштабных исследований (1 : 50 000 и крупнее) — карты гидротермально-метасоматических и экзогенных эпигенетических изменений. Специальной нагрузкой радиогидрогеологических карт являются данные о концентрации радиоактивных элементов (фон и аномалии), ореолы распространения сопутствующих элементов, гидрогеохимические (окислительно-восстановительные) обстановки, сведения о динамике вод, ионно-солевом составе и минерализации. На картах специальными знаками показываются также некоторые элементы геологического строения, имеющие важное гидрогеологическое значение, — разрывные и пликативные структуры, водоупорные толщи и т. д.

8.5. Атмогеохимические методы

Эманационная съемка. Эта съемка является одним из видов поисков радиоактивных руд, основанном на изучении распределения концентраций эманаций в горных породах и рыхлых отложениях. В зависимости от способа определения концентрации эманации различают следующие модификации эманационной съемки: 1) обычный эманационный метод; 2) эманационный трековый метод, основанный на измерении числа треков альфа-частиц, образующихся на специальной пленке при распаде эманации; 3) альфаметрический метод, при котором количество распадов эманации регистрируется кремниевыми детекторами электронных приборов.

По условиям ведения поисков эманационный метод в обычной модификации наиболее эффективен на участках с мощностью рыхлых отложений от 1 до 3—5 м. При этом различают рядовую эманационную съемку, когда отбор проб почвенного воздуха ведется из бурок глубиной 0,8—1 м, проходимых, как правило, вручную, и глубинную с поинтервальным отбором проб из шпуров (скважин) глубиной от 1,5 до 10 м и более, проходимых с помощью самоходных буровых установок.

* Кислород, сероводород, формы железа, значения Eh и pH определяются на месте отбора проб, так как в процессе хранения пробы испытывают необратимые изменения.

Неблагоприятны для проведения эманационной съемки обычной модификации площади с коренными выходами пород либо с развитием в разрезе рыхлых образований существенно глинистого состава мощностью более 1—2 м, а также обводненные и заболоченные участки. Эманационный трековый и альфаметрический методы несколько расширяют возможности эманационной съемки и позволяют выполнять ее на заболоченных и обводненных участках, в условиях развития многолетней мерзлоты.

Обычная эманационная съемка выполняется с помощью эманометра «Радон»*. Градуирование эманометров осуществляется с помощью образцовых растворов радия-226 с активностью 40—1000 Бк (10^{-9} — 10^{-8} Ки). Для контроля за стабильностью работы используется входящая в комплект прибора специальная камера, в которой помещен альфа-источник, плутоний-239.

Методика проведения работ включает проходку шпуров ручным или механическим способом на заданную глубину в точках на профилях, ориентированных вкрест простирания предполагаемых ураносных структур (горизонтов), закрытых рыхлыми образованиями, отбор из шпуров проб почвенного воздуха с помощью специальных пробоотборников и измерение эманометром концентрации эманации. В нормальных полях измерения проводятся сразу после введения почвенного воздуха в камеру прибора. На точках с аномальной концентрацией для определения природы радиоактивности выполняются два последовательных отсчета с интервалом времени 1—5 мин. Концентрация радона и торона вычисляется по соответствующим формулам, учитывающим распад торона и влияние образующихся продуктов распада радона. Для оценки качества работ проводятся контрольные измерения (3—5 % от общего объема эманационных наблюдений). Повторяемость формы графиков концентраций эманаций, полученных при основных и контрольных измерениях, является признаком хорошего качества работ.

Наибольшее распространение при поисках месторождений урана получили масштабы 1:25 000 (сеть наблюдений $250 \times 5 \div 10$ м) и 1:10 000 (сеть $100 \times 5 \div 10$ м). Детальная эманационная съемка масштаба 1:5000 (сеть 50×5 м) и 1:2000 (сеть $20 \times 2 \div 5$ м) проводится на площади выявленных радиометрических аномалий для их прослеживания под покровом рыхлых отложений, оконтуривания и выявления новых рудных тел в пределах месторождений и рудных полей.

Ограниченность применения эманационной съемки в настоящее время объясняется тем, что в условиях поисков слабопроявленных ореолов рассеяния аномалии от рудных объектов становятся соизмеримыми с помехами, обусловленными метеорологическими и природными факторами.

* В настоящее время промышленностью готовится к выпуску эманометр РГА-01, обладающий по сравнению с прибором «Радон» лучшими метрическими и эксплуатационными параметрами.

Для исключения влияния указанных факторов в 70-х годах в практике поисков получил широкое распространение эманационный трековый метод. Методика работ при проведении этого метода заключается в установке в закопашки, шпурь или скважины на 25—30 дней, на глубину не менее 0,6—0,9 м пластмассовых камер (кассет) объемом 250 см³, к дну которых крепится кусочек специальной пленки. В настоящее время для этих целей в основном применяются серийные кино- и фотопленки объединения «Свема» (г. Шостка) со снятым фотоэмульсионным слоем.

При проведении полевых исследований на обводненных и заболоченных участках камеры устанавливаются вертикально в закопашках и скважинах таким образом, чтобы поверхностные и грунтовые воды, поступающие в ее нижнюю часть, не смогли удалить из камеры воздух (кессонный способ). При установке камер непосредственно в воду для обеспечения сохранности и возможности быстрого отыскания желательно закреплять их на вешках, пикетажных колышках; при помещении камер в обводненные скважины к нижней кромке камеры прикрепляется грузик, препятствующий ее переворачиванию.

После извлечения пленка обрабатывается щелочью для протравления следов альфа-частиц. Счет количества треков выполняется с помощью микроскопов МИН-6 и МИН-8 в проходящем свете на участке пленки, соответствующем полю зрения микроскопа (в пределах счетной сетки). Результаты подсчета приводятся к одной и той же экспозиции (обычно к 30 сут). При этом учитываются поправки за собственный фон пленки путем травления и подсчета числа треков на неэкспонированной пленке.

В условиях, благоприятных для применения эманационного трекового метода, его глубинность достигает десятков и сотен метров, что объясняется меньшим уровнем помех по сравнению с обычной эманационной съемкой и соответственно более высокой чувствительностью метода.

Вместо камер с пленкой для измерения эманации применяются и специальные электронные приборы, так называемые альфаметры, в качестве приемника альфа-излучения в которых используются кремниевые детекторы, а счет числа альфа-частиц происходит автоматически в заданном интервале времени с последующим выводом результатов измерений путем подключения к специальным устройствам или визуального отсчета показаний — при наличии в составе прибора цифрового блока вывода информации.

Обработка результатов измерений эманационной съемки заключается в построении графиков (изолиний) концентрации эманаций или числа треков, полученных в точках наблюдений по профилям, и выделения среди нормального поля аномальных значений способом статистической обработки.

Гелиевый метод. Гелий образуется в земной коре и более глубоких геосферах за счет различных ядерных реакций и радиоактивного альфа-превращения, в том числе и за счет радиоактивного распада изотопов урана. Разнообразие природы гелиевых

аномалий, значительный отрыв их от газовых источников не позволили еще четко определить место гелиевого метода в общем поисковом процессе. В настоящее время данный метод применяется на ранних этапах поисковых работ и используется в основном в комплексе с гидролитохимическими и различными атмогеохимическими поисками для выделения перспективных площадей, отвечающих рудным районам или рудным полям.

Методика гелиевой съемки заключается в отборе водных проб или проб почвенного воздуха с последующим определением концентраций гелия в полевых условиях с помощью масс-спектрографов.

Ориентировочная плотность опробования при съемке масштаба 1 : 1 000 000 — 1 проба на 50—70 км² и при 1 : 200 000 — 1 проба на 10—15 км².

8.6. Биогеохимические методы

В настоящее время существует несколько биогеохимических методов: геоботанический, индикаторных растений, биоморфометрический, флорометаллометрический (или собственно биогеохимический) и почвенно-металлометрический.

Показателями рудоносности площади для первых трех методов являются наличие определенных сообществ и видовой состав растительного покрова, а также отклонения в морфологии и росте растений, вызываемые высокими содержаниями радиоактивных элементов в почвенном слое. Однако вследствие большого влияния на эти показатели различных факторов, не связанных с урановой рудой, данные методы недостаточно разработаны и пока не применяются в практике поисковых работ. В пределах плато Колорадо широко проводился метод индикаторных растений, но виды растений-индикаторов, развитых в пределах плато, не встречаются в других районах.

Почвенно-металлометрический метод является разновидностью ореольного уранометрического метода, когда при проведении уранометрической съемки в пробу отбирается материал из самой верхней части почвенного слоя.

Наибольшее применение для поисков урановых месторождений находит флорометаллометрический метод, который основан на зависимости химического состава растительности от химического состава питающей среды и заключается в определении содержаний урана и его элементов-спутников в растительном покрове. Глубина метода зависит от глубины проникновения корневой системы и капиллярных свойств почвенно-растительного слоя. В степных и пустынных районах она составляет 20—50 м, в лесных районах гумидной зоны — 10—30 м, в районах с многолетней мерзлотой — 3—10 м.

Флорометаллометрическая съемка применяется при наличии древесных растений с глубокой корневой системой в районах

с чехлом аллохтонных (в том числе аллювиально-пролювиальных, ледниковых, эоловых) отложений мощностью до 20 м или в местах развития элювиально-делювиальных образований и кор выветривания с выщелоченными с поверхности первичными и вторичными ореолами рассеяния, когда ореольная уранометрическая и поверхностные радиометрические съемки являются недостоверными. Она выполняется посредством площадного отбора проб листьев (хвои), веток и кор деревьев, кустарников, трав, последующего озоления (сжигания) их и определения содержания элементов в золе (урана — люминесцентным или рентгеноспектральным анализом, элементов-спутников — спектральным анализом). В настоящее время разрабатываются методы определения элементов непосредственно в зеленой массе без ее озоления.

Целесообразность проведения флорометаллометрической съемки и материал опробования, представительность которого зависит от вида и опробуемой части растения, его возраста и вегетационного срока, определяются постановкой опытных работ на известных в пределах изучаемой территории рудопроявлениях и месторождениях. Опытным путем устанавливается и плотность наблюдений. Обычно расстояние между профилями соответствует расстоянию между ними при геологической съемке того же масштаба, а шаг опробования при детальном поиске составляет 10—20 м, при прогнозно-геологических работах — 100—200 м и более. Масса пробы (свежего растительного материала) — 0,5—1,0 кг. Результаты флорометаллометрической съемки используются вместе с результатами уранометрических и гамма-спектрометрических съемок для составления радиогеохимических карт.

8.7. Лабораторные исследования при поисках месторождений урана

В настоящее время для определения концентраций радиоактивных элементов, соотношений между их различными изотопами, установления элементов-спутников и элементов-индикаторов геологических явлений и признаков (определение концентраций гелия, ртути, углеводородов и др.) используется широкий комплекс лабораторных исследований, включающий химические, рентгеноспектральные, спектральные, радиометрические, ядерно-физические и другие виды анализов.

В табл. 9 дана краткая характеристика методов определения общего содержания урана, тория и радия. Основным материалом для ее составления послужили методики, утвержденные Научным советом по аналитическим методам (НСАМ) при Мингео СССР и являющиеся обязательными для производственных лабораторий минерально-сырьевого профиля. Кроме того, здесь также приведены методики еще не утвержденные НСАМ, но достаточно широко используемые в практике работ лаборатории. Большинство

приведенных методик характеризуется удовлетворительной точностью анализов: при определении средних и высоких содержаний урана и тория ($>0,001\%$) они отвечают, как правило, III категории точности, при определении более низких содержаний — VI категории.

Выбор метода исследований обусловлен интервалом определяемых содержаний, наличием мешающих элементов, размером анализируемой навески и другими факторами. Наиболее массовым видом определения урана, тория, свинца является рентгеноспектральный анализ, характеризующийся достаточно высокой чувствительностью и простотой. Радиометрические методы определения урана и тория, широко применявшиеся в аналитической практике в прошлые годы, утратили свое ведущее значение. Однако они являются единственными методами определения радия, так как большинство других методов не могут быть использованы ввиду его низких природных концентраций.

Наиболее чувствительным методом определения урана и тория является нейтронно-активационный (10^{-7} — $10^{-2}\%$). С его помощью возможно не только количественное определение содержаний урана и тория, но и изучение по осколкам деления ядер характера пространственного распределения этих элементов, установление приуроченности к тем или иным минералам и микроструктурам.

В практике геологоразведочных работ широко используются также химические и физико-химические исследования, позволяющие анализировать пробы в широком диапазоне концентраций урана и тория. При этом низкие содержания урана ($\leq 0,001\%$), как правило, определяют люминесцентным методом, более высокие ($\geq 0,01\%$) — титриметрическим (ванадатометрическим). Люминесцентный метод является одним из самых чувствительных и массовых методов определения урана. Он широко применяется при поисках урановых месторождений и геохимических исследованиях, а также используется для определения низких содержаний урана в минералах, породах, почвах и водах.

Титриметрические методы определения урана благодаря широкому диапазону определяемых концентраций и высокой точности анализа занимают ведущее место среди химических методов определения урана. Указанный метод широко используется для контроля качества анализов, выполняемых другими методами.

С развитием рентгеноспектральных, люминесцентных и экспрессных титриметрических методов определения урана фотометрические методы утратили свое ведущее значение при проведении массовых определений. Это объясняется повышенной трудоемкостью операций по отделению урана от тория, титана, циркония и редкоземельных элементов, постоянных спутников урана в природных образованиях. В настоящее время фотометрические методы применяются при анализе урана в природных водах. Фотометрические методы находят широкое применение при определении тория, благодаря простоте выполнения анализа и высокой точности получаемых результатов.

ТАБЛИЦА 9
СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ О ВИДАХ АНАЛИЗА РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕ-

Определяемый элемент	Вид анализа	Метод	Объекты анализа	
Уран	Радиометрический	Определение радиоактивных элементов (U, Ra, Th) и калия в горных породах спектрорадиометрическим методом	Горные породы, руды	
	Нейтронно-активационный	Определение урана по нептунию-239	Горные породы и минералы	
	Рентгеноспектральный	Определение содержания урана по следам от осколков деления	Горные породы и минералы	
		Определение урана методом запаздывающих нейтронов	Горные породы	
		Определение урана в горных породах рентгеноспектральным флуоресцентным методом с учетом эффекта матрицы по некогерентно рассеянному излучению	То же	
		Определение урана и тория после концентрирования их на силикагеле	Горные породы и минералы	
		Определение урана по способу внутреннего стандарта	Горные породы, руды, минералы	
		Химический и физико-химический	Ферро-фосфатно-ванадатное определение урана	Руды и продукты их переработки
			Ванадатометрическое определение урана с предварительным выделением его на силикагеле	Минеральное сырье сложного состава
			Фотометрическое определение урана с арсеназо III после экстракции трибутилфосфатом	Горные породы
Определение урана люминесцентным методом в горных породах (ЦАЛ-1) ЦАЛ-2	Силикатные горные породы То же			
Определение урана в подземных и поверхностных водах	Водные пробы			

Интервал определяемых содержаний, % (категория анализа)	Навеска, г	Мешающие элементы и факторы	Примечание
$2 \cdot 10^{-4}$ —30 (III)	150—200		Точность определения зависит от соотношения радиоактивных элементов (U, Ra, Th) и калия и нарушения радиоактивного равновесия
$2 \cdot 10^{-4}$ —1 (VI)	0,1		Определение проводят без отделения мешающих элементов. Вместе с ураном определяют Na, Za, Sm, а после радиохимического выделения Th, Se, Hf, Fe, TR и др.
10^{-3} — 10^{-3}	0,1	Th/U \leq 10/1	
$5 \cdot 10^{-5}$ —1	0,1—5	Th/U \leq 10/1	
$5 \cdot 10^{-4}$ —10 (III)	2—5	Sr, Rb, Th, Pb, Zr, Nb, Mo	Определение проводят с использованием некогерентно рассеянной на пробе линии анода
$5 \cdot 10^{-5}$ — $5 \cdot 10^{-3}$ (III)	3		Предварительное концентрирование позволяет исключить влияние минералогического и химического состава
$2 \cdot 10^{-3}$ —10 (III)			
$3 \cdot 10^{-2}$ —10 (III)	0,1—1	Br \geq 0,5 % Bi $>$ 0,6 %	
10^{-2} —10 (I, III)	0,1—2	Zn, Nb \geq 3 % Fe $>$ 50 мг Mo $>$ 0,4 мг V $>$ 0,1 мг Mn $>$ 5 мг Sn, Ti, Zn $>$ 20 мг	
$3 \cdot 10^{-4}$ — 10^{-2}	0,1—1,0		
$1 \cdot 10^{-4}$ — $5 \cdot 10^{-2}$ (VI)	0,2		Активированные ураном плавы готовят в форме таблеток
$3 \cdot 10^{-5}$ — $2 \cdot 10^{-2}$ (VI)	1,0		Марганец, хром, кобальт, никель, железо
$2 \cdot 10^{-7}$ — $1 \cdot 10^{-3}$ * (VI)			

Определяемый элемент	Вид анализа	Метод	Объекты анализа
Торий	Радиометрический	Определение радиоактивных элементов (U, Ra, Th) и калия в горных породах спектрометрическим методом	Горные породы и руды
	Нейтронно-активационный	Определение тория по протактинию-233 после радиохимического выделения	Горные породы
	Рентгеноспектральный	Флюоресцентное рентгеноспектральное определение тория с учетом эффекта матрицы по некогерентно рассеянному излучению Флюоресцентное рентгеноспектральное определение тория по способу внутреннего стандарта	То же Породы, руды, продукты технологической переработки
	Спектральный	Спектрографическое определение индивидуальных редкоземельных элементов, иттрия, тория, скандия	Горные породы и минералы
	Химический и физико-химический	Фотометрическое определение тория с арсеназо III Фотометрическое определение тория с тороном	Горные породы, руды и минералы То же
Радий	Радиометрический	Определение радиоактивных элементов (U, Ra, Th) и калия в горных породах спектрометрическим методом Метод определения радия в порошковых пробах на основе комплекса радиометрических измерений и рентгеноспектральных анализов	Водные пробы Горные породы и руды Горные породы и руды
	Радиохимический	Радиометрическое определение радия по бета-альфа-запаздывающим совпадениям Эманационное определение радия в горных породах Эманационное определение радия после осаждения его с сульфатом бария Определение радия в подземных и поверхностных водах	То же Горные породы, руды и продукты их технологической переработки Слаборadioактивные горные породы Водные пробы

Примечание. Содержания, отмеченные звездочкой, даны в граммах на литр.

Интервал определяемых содержаний, % (категория анализа)	Навеска, г	Мешающие элементы и факторы	Примечание
$1,5 \cdot 10^{-4} - 30$ (III)	> 100		
$2 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-2}$	0,1		Определение тория выполняют в ходе многоэлементного анализа (U, Se, Sm, Hf, Fe, Za, Ce и др.)
$5 \cdot 10^{-4} - 5$ (III)	2—5	Bi, U, Pb, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, I > 3%	При концентрации мешающих элементов менее 3% их влияние может быть учтено в формуле расчета содержания тория
$2 \cdot 10^{-3} - 10$	1—2	$Rb \geq 0,6\%$, $Zr \geq 3\%$	При содержании свинца и цинка выше указанных в результаты определения тория необходимо вводить поправки
$3 \cdot 10^{-2} - 2$ (III)	0,1—0,2		При химическом концентрировании возможно определение тория от 0,001%
$5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-1}$ (III)	0,05—0,5		
$5 \cdot 10^{-3} - 10$ (III)	0,05—0,5	Zr > 5%	
$3 \cdot 10^{-10} - 2 \cdot 10^{-6}$	> 100		
$1 \cdot 10^{-9} - 3,4 \cdot 10^{-7}$ (III)	5—10 20—70 100—200	$C_{Ra}/C_U \leq 30\%$; $C_{Th} > 0,1\%$; $K > 3\%$ при определении $n \cdot 10^{-9}\%$ Ra	Поправку на мешающее влияние урана и тория вводят по данным рентгеноспектрального, а калия — по данным пламеннофотометрического методов
$1 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-7}$	5		Используется прибор типа «Ну-клон»
$1 \cdot 10^{-10}$ и более (III)	0,5—3		Мешающие определению радия элементы отделяют при гидротитическом осаждении
$n \cdot 10^{-11}$ и более (VI)	10—20		
$4 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-8}$ *	1		

ОСОБЕННОСТИ МАССОВЫХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

При производстве геологических, геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических съемок, изыскательских работ, поисков, разведки и добычи различных полезных ископаемых, а также при буровых, горно-проходческих и других работах, связанных со вскрытием и изучением земных недр, на площадях, в пределах которых по геологическим данным возможны повышенные концентрации урана, выполняются массовые поиски урановых месторождений. Они заключаются в измерении радиоактивности горных пород, проведением радиометрического каротажа скважин, радиометрических измерений в горных выработках, радиометрического изучения керна скважин, пешеходных радиометрических поисков, аэрогамма-спектрометрических съемок, а также в определении содержания урана и продуктов его распада в горных породах, воде и почвенном воздухе с помощью эманионных, металлометрических, радиогеологических и лабораторных исследований, т. е. массовые поиски заключаются в опосредованном исследовании территории прямыми радиометрическими и другими радиогеохимическими методами. Они осуществляются одновременно с работами основного плана в соответствии с инструкциями и методическими рекомендациями Мингео СССР. Задания по ним включаются в целевые и геологические задания, пообъектные и сводные планы и проекты, на основании которых организации проводят свои основные работы.

Данными поисками в силу их массовости и широты охвата исследуются самые разнообразные геологические обстановки с различной степенью перспективности; они проводятся там, где ведутся работы основного плана, и зачастую на площадях, практически не изученных специализированными работами на уран. Естественно, выполнение массовых поисков различными организациями требует от последних осуществления целого ряда мероприятий специального плана (набор и подготовка кадров, приобретение соответствующей радиометрической аппаратуры и т. п.). Однако массовые поиски выполняются обычно небольшим комплексом методов; поэтому удорожание основных работ небольшое, а результаты их бывают значительными.

Ниже приводятся особенности проведения различных видов работ по вскрытию и изучению земных недр при выполнении организациями массовых поисков месторождений урана.

9.1. Аэрогамма-спектрометрическая съемка

Аэрогамма-спектрометрический метод является прямым при поисках месторождений урана и дает возможность непосредственного их обнаружения. Поэтому все аэропартии, которые проводят поиски нерадиоактивного сырья или съемку с целью создания геофизической основы для геологического картирования на площадях, перспективных для выявления урановых месторождений, обязаны проводить и массовые поиски, что должно находить отражение прежде всего в геологическом задании.

В техническом проекте на проведение аэроработ выделяется специальный раздел, посвященный массовым поискам месторождений урана, в котором содержатся радиогеохимическая характеристика территории, сведения о наличии в ее пределах радиоактивных объектов (месторождений и рудопроявлений урана, аномалий), о структурном и литологическом контроле уранового оруденения и дается общая оценка перспектив рудоносности территории, описание поисковых и оценочных критериев оруденения. Техническим проектом предусматриваются выделение, детализация, предварительная наземная оценка и проверка всех перспективных на уран аномалий и участков.

Геологическое задание и проект на проведение массовых аэрогамма-спектрометрических поисков месторождений урана согласовывают с соответствующими геологическими организациями. Методика работ при массовых и специальных аэропоисках регламентируется единой Технической инструкцией по аэрогамма-спектрометрической съемке [1977 г.], соблюдение всех требований которой является залогом высокой эффективности аэроработ.

9.2. Геологическое картирование, инженерно-геологические изыскания, поиски, разведка и добыча полезных ископаемых

Геологическое картирование, инженерно-геологические изыскания, поиски, разведка и добыча полезных ископаемых связаны с выполнением значительных объемов геологических маршрутов, проходкой поверхностных и подземных горных выработок, бурением скважин, отбором металлометрических, водных, газовых и других проб. Массовые поиски месторождений урана заключаются при этом в радиометрическом сопровождении геологических маршрутов, радиометрической документации горных выработок, гамма-каротаже скважин, лабораторных исследованиях проб на уран (радий, радон).

Во время проектирования и подготовки к полевым геологическим работам проводится сбор материалов по радиометрической изученности площади, обобщаются сведения о ее ураноносности, анализируются данные по неоцененным и отрицательно

оцененным радиоактивным объектам в свете современных представлений о формациях промышленных месторождений урана, выделяются участки для их более детального радиометрического изучения, обосновывается постановка дополнительных работ на неоцененных и недостоверно оцененных радиоактивных объектах. Результаты предполевой подготовки в виде радиоактивных рудопроявлений и аномалий, полей изоконцентраций урана, тория и калия, первичных и вторичных ореолов рассеяния урана и его элементов-спутников, перспективных участков, структур и т. п. выносятся на топопланшеты, фотоснимки и другую основу, которая используется при геологической съемке.

В процессе проведения геолого-радиометрических маршрутов тщательно изучаются (визуально и с помощью радиометров) зоны тектонических нарушений, узлы их пересечения и оперяющие разломы, участки гидротермально-метасоматических изменений, осадочные породы, обогащенные растительными остатками, битумами, фосфоритами, сульфидами, гидроокислами железа, а также другие геологические образования, благоприятные для формирования месторождений урана.

При выявлении точек с аномальной мощностью экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения проводится сплошное радиометрическое изучение прилегающего к аномальной точке участка — детализация радиоактивной аномалии. В точке с максимальной МЭД расчищают рыхлые отложения с последующим изучением радиоактивности в копушах. При выявлении аномалий, представленных в наносах отдельными штуфами, по возможности отыскивается место залегания коренных пород, являющихся «поставщиком» рудных обломков.

Изучение радиоактивности пород в маршруте ведется параллельно с выполнением геологических наблюдений и вся работа радиометриста в процессе маршрута направляется геологом. Фиксированные измерения МЭД в обязательном порядке выполняются на всех точках геологических наблюдений, аномальных участках, а также между ними. Методика проведения геолого-радиометрических маршрутов описана выше.

Первичным документом радиометрического сопровождения геологических маршрутов является полевой журнал результатов радиометрических измерений, который ведется радиометристом. Параллельно в полевой книжке геолога отмечаются аномальные значения МЭД, геологическая характеристика участков аномалий, делаются схемы и зарисовки последних, а также радиометрическая характеристика геологических образований, встреченных по ходу геолого-радиометрического маршрута. Результаты радиометрических наблюдений выносятся на радиометрическую карту, составляемую в виде накладки на геологическую карту.

Одной из основных задач массовых поисков урана при всех геологических съемках является оценка перспектив ураноносности исследованной территории, которая дается по завершении работ и приводится в окончательных отчетах геолого-съемочных партий

в главе «Массовые поиски урана». На основании всестороннего изучения геологического строения и данных радиометрических, радиогеохимических и других наблюдений, с учетом известных закономерностей локализации урановых месторождений, поисковых критериев и признаков, геологи-съемщики должны выделять перспективные площади и отдельные структуры для последующих детальных поисковых работ на уран. Указанные рекомендации являются одним из итогов обобщения результатов работ по массовым поискам.

Все горные выработки, в том числе траншеи водопроводов и газопроводов, выемки железных и шоссейных дорог, тоннели, колодцы и т. д., пройденные в пределах площадей, перспективных на выявление урановых месторождений, подлежат радиометрическому обследованию и радиометрической документации.

Радиометрическое обследование заключается в непрерывном прослушивании радиометром СРП-68-01 отвалов, стенок, дна, кровли и забоя выработок. В результате обследования определяется сеть (плотность) фиксированных наблюдений МЭД гамма-излучения. При фоновых значениях МЭД измерения выполняются только по одной стенке и дну по отдельным профилям, перпендикулярным к оси выработки, с расстояниями между точками на профиле 0,5—1,0 м и между профилями от 1 м (при сложном геологическом строении) до 10 м (при простом). Независимо от принятой сети измерений радиометрическую характеристику получают все разновидности пород. При выявлении интервалов с аномальными значениями МЭД проводится детализация этих участков по сети $0,1 \div 0,5 \times 0,1 \div 0,5$ м, при этом детализируются все стенки и дно выработок.

Радиометрическая и геологическая документация должна проводиться, как правило, одновременно и одним и тем же лицом. Первичной документацией является полевой журнал результатов измерений МЭД гамма-излучения и калька-накладка на зарисовке горной выработки с нанесением на ней точек измерений в пикоамперах на килограмм. По результатам детализации гамма-аномалий составляется накладка на детальную геологическую зарисовку участка выработки. С помощью полученных данных намечаются линии бороздового опробования, обычно разбиваемые на секции с таким расчетом, чтобы каждая из них характеризовала определенную разновидность пород с одинаковой мощностью экспозиционной дозы.

При геологической съемке, поисках и разведке полезных ископаемых, различных инженерно-геологических изысканиях проводятся в большом количестве металлометрическое, петрофизическое, технологическое и другие виды опробования пород, как выходящих на поверхность, так и вскрываемых горными выработками и скважинами.

Рентгеноспектральному или радиометрическому анализу на уран с целью массовых поисков подлежат все пробы, отобранные на участках с благоприятными геологическими критериями

и поисковыми признаками уранового оруденения, в первую очередь те, в которых спектральным анализом определены повышенные содержания молибдена, свинца, мышьяка, ванадия, фосфора и других элементов, являющихся для определенных генетических типов промышленных урановых месторождений элементами-спутниками урана.

В ряде районов металлотрическая съемка, проводимая геологическими организациями, сопровождается радиометрическими измерениями МЭД гамма-излучения в точках отбора проб.

9.3. Гамма-каротаж скважин с целью массовых поисков урана

Гамма-каротаж скважин является одним из обязательных методов исследований скважин, бурящихся на нефть, газ, воду, твердые полезные ископаемые, и для геологического картирования. При решении различных задач, связанных с изучением земных недр, организациями применяется разнотипная каротажная аппаратура, основными представителями которой являются сцинтилляционные каротажные приборы типа ДРСТ, ДРСА, РСК, БКР, РУР, «Кура», меньшее распространение находят приборы на газоразрядных счетчиках (НГГК-62, СП-62, Р-3), используемые в основном для каротажа глубоких нефтяных скважин с высокотемпературным режимом.

Практически вся используемая организациями каротажная аппаратура может с успехом применяться для гамма-каротажа скважин с целью массовых поисков урана. Исключение составляют приборы РК-60л, РК-140, ГНК-2а, РГП-2, ГГП, РРКА, РРША, применение которых для гамма-каротажа при массовых поисках урана невозможно без существенных изменений в схемах их блоков детектирования. Подробно методика работ по гамма-каротажу скважин при массовых поисках урана изложена в Инструкции по гамма-каротажу скважин при массовых поисках урана [1981 г.].

Требования к подготовке и настройке каротажной аппаратуры общего применения во многом сходны с требованиями к настройке аппаратуры специального профиля. Обязательным условием подготовки каротажной аппаратуры к работе является установка энергетического порога регистрации, который для приборов ДРСТ-3, ДРСА, «Кура-2», РУР-2, БКР-3 устанавливается на уровне $3,2 \pm 0,8$ фДж (20 ± 5 кэВ), а для приборов ДРСТ-1, ДРСТ-2, РУР-1, БКР-2, РСК-М, РСК-У — не более 4,8 фДж (30 кэВ). В аппаратуре ДРСТ-3, используемой в скважинах с повышенным температурным режимом (более 70°C), рекомендуется устанавливать более высокий энергетический порог — до 4,8—5,6 фДж (30—35 кэВ).

Методикой проведения гамма-каротажа с целью массовых поисков допускаются более высокие скоростные режимы его про-

ведения в скважинах — 1500 для сцинтилляционных каротажных и 1800 м/(ч·с) для каротажных приборов с газоразрядными счетчиками, а также увеличены скоростные режимы при детализации аномалий до 150 м/(ч·с).

Минимальная аномалия, подлежащая детализации, определяется для каждого района исходя из конкретной геологической обстановки и состояния радиоактивного равновесия. При отсутствии этих сведений в зависимости от мощности радиоактивного интервала и состава вмещающих пород принимаются следующие минимальные значения мощности экспозиционной дозы, подлежащие детализации, пА/кг (мкР/ч): 2,2 (30) — локальные аномалии (до 1 м) в нелитифицированных отложениях и 3,6 (50) — в слабопроницаемых осадочных и изверженных породах; аномалии мощностью более 1 м детализируются соответственно со значений 3,6 (50) и 7,2 (100).

Детализация выявленных аномальных интервалов выполняется в следующем порядке. При выявлении аномалии каротаж продолжают на используемом рабочем поддиапазоне до выхода в породы с нормальными значениями мощности экспозиционной дозы и отбивки очередной метки. Затем подъем прекращают, включают лентопротяжный механизм и скважинный прибор опускают ниже аномального интервала до ближайшей метки. Спуск проводится со скоростью, не превышающей рабочую, с тем чтобы во время спуска определить поддиапазон, на котором аномалия может быть зарегистрирована. Установив соответствующий поддиапазон, включают лентопротяжный механизм и по истечении времени $3t$ записывают аномалию в том же масштабе глубин и при тех же постоянной времени и скорости подъема скважинного прибора. В зависимости от количества аномальных интервалов в разрезе и сложности конфигурации аномалий детализацию проводят или после выполнения основного (поискового) каротажа по всему стволу скважины, или в процессе его проведения.

Запись аномалий выполняется в масштабе глубин 1 : 50 (1 : 20) на том поддиапазоне, на котором наибольшая амплитуда аномалий составляет не менее половины рабочей ширины диаграммной ленты (фотобумаги). В том случае, если аномальная зона (интервал) содержит несколько пиков, различающихся по скорости счета в 3 раза и более, запись повторяется на таком поддиапазоне, на котором наименьший [но не менее 7,2 пА/кг (100 мкР/ч)] пик будет записан не менее, чем на $1/2$ части диаграммной ленты. В остальных случаях все аномалии при детализации в масштабе 1 : 50 (1 : 20) записываются один раз.

Если выявленная аномалия не укладывается на самом грубом поддиапазоне канала ГК при использовании скважинных приборов с двумя блоками детектирования, детализация может быть выполнена с помощью блока детектирования канала ГГК (НГК), подготовленного к проведению гамма-каротажа. В случае использования одноканальной аппаратуры (приборы РСК-М, «Кура-1») основной скважинный прибор заменяется на запасной с монокри-

сталлом малого размера, при отсутствии последнего гамма-каротаж выполняется основным скважинным прибором, в котором основной монокристалл заменен на запасной малого размера. При использовании каротажных радиометров на газоразрядных счетчиках детализация аномалий производится, как правило, после завершения основного каротажа. Для детальных измерений применяется запасной скважинный прибор с одним счетчиком СИ-23Г или СИ-31Г.

Результаты гамма-каротажа используются для определения мощностей рудных тел и приближенной оценки в них концентраций урана. В связи с различиями в конструкции скважинных приборов (наличие или отсутствие на блоках детектирования свинцовых экранов, разная толщина стенок скважинных приборов) значения пересчетного коэффициента от мощности экспозиционной дозы гамма-излучения к содержанию урана значительно различаются между собой. В зависимости от типа используемой аппаратуры его значение от 6,9 (95) до 15,1 пА/кг (210 мкР/ч) на 0,01 % равновесного урана. Пересчетный коэффициент неодинаков даже внутри серии однотипных приборов, что связано с большими допусками при изготовлении стальных кожухов скважинных приборов и свинцовых экранов. Поэтому указанная аппаратура не может быть использована для количественной интерпретации каротажных исследований, связанных с подсчетом запасов урана.

При одновременном проведении гамма-каротажа и гамма-гамма-каротажа (ГГК), нейтронного каротажа (ННК) или нейтронного гамма-каротажа (НГК) могут возникнуть ложные гамма-аномалии из-за влияния канала ГГК (ННГ, НГК) на результаты измерений каналом ГК. Отбраковка аномалий выполняется сопоставлением регистрируемых диаграмм каротажа. В том случае, когда аномалия, зафиксированная каналом ГК, подтверждается затем на канале ГГК (ННГ, НГК), аномалия истинная. Если же она не подтверждается, то аномалия ложная и вызвана влиянием канала ГГК (ННГ, НГК). Дополнительным признаком ложной аномалии гамма-каротажа является одновременное появление ее на обоих каналах. При частом чередовании маломощных рудных и безрудных зон, когда разделение истинных и ложных аномалий становится невозможным, необходимо раздельное проведение методов ГК и ГГК (ННК, НГК).

При проведении гамма-каротажа с целью массовых поисков в случае его выполнения в поисковых, картировочных, шнековых и буровзрывных скважинах, проходимых в рыхлых отложениях без обсадки ствола, допускается замена контрольного каротажа повторным. Повторный каротаж выполняется в объеме 20—50 м сразу после основного тем же прибором и в интервале скважины, характеризующемся дифференциальной записью. Перед проведением повторного каротажа необходимо записать на диаграммной ленте нуль регистратора, фон, показания калибратора и контрольного источника.

Объем контрольного (повторного) каротажа должен составлять не менее 5 % от общей длины скважин, бурящихся на нефть и газ, и не менее 10 % для остальных видов бурения.

Погрешность измерений определяется сравнением на отдельных интервалах площадей каротажных диаграмм (при наличии аномальных значений или четкой дифференциации разреза по гамма-каротажу), а также путем использования для контроля специально оборудованной контрольной скважины. Относительная средняя квадратическая погрешность измерений, определяемая значением δ при $N > 20$, не должна превышать 10 %. При слабой дифференциации разреза погрешность измерений определяется сравнением средних значений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения пород на сопоставляемых интервалах. Относительная средняя квадратическая погрешность, %, в этом случае определяется по формуле

$$\delta = \frac{\sqrt{2N \sum_{i=1}^N (a_{oi} - a_{ki})^2}}{\sum_{i=1}^N (a_{oi} - a_{ki})} \cdot 100,$$

где a_{oi} — среднее значение мощности экспозиционной дозы в i -м интервале при основном каротаже; a_{ki} — то же, при контрольном каротаже; N — число сравниваемых интервалов.

Погрешность измерения при $N > 20$ не должна превышать 20 % при радиоактивности пород до 0,7 пА/кг (10 мкР/ч), 15 % — от 0,7 до 1,4 пА/кг (от 10 до 20 мкР/ч) и 10 % при более высоких значениях мощности экспозиционной дозы гамма-излучения пород. Для организаций, проводящих гамма-каротаж скважин с целью массовых поисков, увеличены до 3 мес сроки между очередными градуировками аппаратуры и проверкой разметки кабеля.

9.4. Массовые поиски месторождений урана при гидрогеологических исследованиях

Для решения вопросов, связанных с общей оценкой водоносности пород, питьевым и техническим водоснабжением жилых пунктов, промышленных предприятий, мелиорацией земель, осушением месторождений полезных ископаемых и т. п., проводятся различные гидрогеологические исследования, заключающиеся в выполнении аэрофотосъемочных наблюдений и геологических маршрутов, в проходке горных выработок и бурении скважин, проведении геофизических работ, режимных наблюдений, гидрогеологического опробования скважин, поверхностных водотоков и водоемов, лабораторных анализов. При этом с целью массовых поисков используются в основном те же методы, что и при геологических

съемках, поисках и разведке полезных ископаемых: радиометрическое сопровождение геологических маршрутов, визуальное выявление благоприятных геологических критериев, радиометрическая документация горных выработок, гамма-картаж скважин, радиогидрогеологическое опробование и лабораторные исследования.

Особенности гидрогеологического опробования сводятся к дополнительному отбору водных проб на уран, радий, радон и последующему их анализу. Виды и число пунктов опробования водисточников зависят от профиля и масштаба основных работ, а также от гидрогеологических условий изучаемого района и оговариваются в проекте.

Методика отбора радиогидрогеологических проб рассмотрена в параграфе 8.3, однако следует отметить следующее.

1. Главное внимание при радиогидрогеологических исследованиях должно уделяться определению в водах содержания урана. Определение радия и радона является обязательным в тех случаях, когда опробование осуществляется из горизонтов (водисточников) с восстановительными условиями (например, нефтяные, сероводородные воды); в этих условиях вода не растворяет урановые минералы, но обычно обогащается радием и радоном. Радий и радон определяются также в пределах перспективных площадей и при повторном опробовании водисточников (скважин) с аномальными содержаниями урана.

2. Для анализа проб на уран и радий время, прошедшее с момента их отбора, не ограничивается; анализ же на радон в связи с малым периодом полураспада последнего должен быть выполнен не позднее 2—3 дней после отбора пробы. Так как радиогидрогеологические данные оцениваются с учетом общей минерализации вод, то для каждой пробы необходимо определить сухой водный остаток, который при повышенных содержаниях в воде урана подвергается спектральному анализу для определения в нем элементов-спутников.

4. Во всех аномальных пробах определяются концентрации водородных ионов (рН) и окислительно-восстановительный потенциал (Eh).

5. При отсутствии собственной лаборатории радиогидрогеологические пробы направляются на анализ в соответствующую геологическую организацию.

Результаты анализа проб выносятся на геологическую и гидрогеологическую карту, оценка радиогидрогеологических данных производится обязательно с учетом геологических, общих геофизических, геохимических и других исследований. Организации негеологического профиля передают в установленном порядке материалы радиогидрогеологических исследований соответствующим геологическим организациям.

ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНЫХ АНОМАЛИЙ

10.1. Особенности выделения радиоактивных аномалий

Радиоактивная аномалия — это часть пространства, в которой зафиксированные повышенные значения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения или концентраций радиоактивных элементов (урана, радия, радона) не могут быть объяснены флюктуациями нормального геохимического поля распределения этих элементов. Аномалии выделяют, исходя из опыта поисковых работ, с учетом геологических особенностей нахождения радиоактивной аномалии, кларковых содержаний радиоактивных элементов в горных породах, гидро-, атмо- и биосфере, или же на основании математической обработки результатов исследования.

Наиболее интенсивные аномалии при проведении поисковых работ выделяются сравнением аномальных значений со средними значениями нормального геохимического поля, оцененного по преобладанию относительно устойчивых содержаний элементов или значений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения. При небольшом количестве проб (измерений, анализов) интенсивные аномалии выделяются сопоставлением полученных содержаний радиоактивных элементов с их кларками.

Для выявления слабопроявленных аномалий при большом количестве статистических данных широко применяются методы вариационной статистики с ручной и машинной обработкой материалов. В этих случаях за значение фона принимается среднее арифметическое значение содержания радиоактивных элементов (МЭД) при нормальном законе распределения анализируемых данных или среднее геометрическое значение при логнормальном законе. Минимальное отклонение аномального значения от среднего арифметического выражается через стандартное отклонение. При отклонении от среднего значения на $1,3\sigma$ надежность выделения аномалии составляет 80, при 2σ — 95 и 3σ — 99 %. Выделяются положительные аномалии, значения которых выше среднего содержания, и отрицательные — со значениями ниже среднего.

Параметры распределения анализируемых данных могут быть определены графически по вероятностному графариету, на котором

по оси абсцисс наносятся в арифметическом или логарифмическом (для логнормального закона) масштабе границы интервалов содержания элементов, по оси ординат откладываются относительные накопления частоты в процентах. Абсцисса точки с ординатой 50 % соответствует в линейном масштабе среднему арифметическому и в логарифмическом — среднему геометрическому значению геохимического фона. Стандартное отклонение S при нормальном законе распределения содержаний вычисляют как разность между абсциссой точки накопления с ординатой 84 % и абсциссой точки с ординатой 50 %. При логнормальном распределении величину $E = \text{ant } \lg S$ определяют как отношение абсциссы точки с ординатой 84 % к абсциссе точки с ординатой 50 %.

В последнее время для уменьшения и исключения ошибок при определении статистических параметров все чаще применяется метод статистического окна, позволяющего путем определения узколокальных параметров распределения содержаний элементов в кажущемся однородном геохимическом поле выявить детали его строения, его действительную неоднородность.

В практике поисковых работ за минимальное аномальное значение нередко принимают утроенный (удвоенный) нормальный геохимический фон или определенные абсолютные значения, выраженные в пА/кг (мкр/ч), Бк/л (эман), г/т, % и т. д.

Под радиогидрогеологической аномалией понимают участки водоносных горизонтов или поверхностных водоемов и водотоков, где обнаруживается аномальное содержание радиоактивных элементов в воде. В общем случае к радиоактивным водам относятся воды с содержаниями урана более $3 \cdot 10^{-5}$, радия более $5 \cdot 10^{-12}$ г/л, радона более 133 Бк/л (36 эман) [Токарев А. Н. и др., 1975 г.].

На всех радиоактивных аномалиях сразу же после их выявления проводятся повторные измерения тем же методом, которым аномалия была выявлена. Их целью является отбраковка ложных аномалий, появление которых вызвано неисправностью аппаратуры, ошибками оператора и т. п. После подтверждения аномалии выполняется ее детализация, заключающаяся при пешеходных гамма-поисках в сплошном прослушивании участка аномалии, сгущении точек между фиксированными наблюдениями по основному профилю с обязательным выходом в нормальное поле и проведении двух-трех детализационных профилей по обе стороны от основного. При необходимости в точках с максимальными значениями МЭД проходят закопушки и делают расчистки; при выявлении радиоактивных штуфов отыскиваются коренные породы, являющиеся источником этих рудных обломков. Методика детализационных работ при других видах поисков (аэрогамма-спектрометрическая съемка, гамма-каротаж скважин и др.) описана выше (см. гл. 8).

По характеру проявлений в пространстве выделяются одиночные (локальные) и групповые аномалии. Обычно одиночные аномалии объединяются в групповые по их приуроченности к единым

тектоническим структурам или литолого-фаціальным комплексам пород, однако это объединение производится после проведения минимально необходимого комплекса предварительных исследований на каждой их них.

10.2. Первоначальная оценка радиоактивных аномалий

Все радиоактивные аномалии, достоверность которых подтверждена контрольными измерениями, в соответствии с инструкциями Мингео СССР подлежат обязательной первоначальной оценке в год их выявления и как исключение в период проведения работ по проекту. Целью первоначальной оценки является обоснование необходимости проведения детальной оценки или отбраковки аномалии в связи с ее бесперспективностью. Первоначальная оценка аномалий — наиболее сложный и ответственный поисковый этап; от достоверности и объективности ее выполнения зависит результативность поисковых работ в целом.

Радиоактивные аномалии фиксируются в самой разнообразной структурно-геологической обстановке, поэтому комплекс геологических, геофизических и геохимических методов исследований их не может быть стандартным и должен подбираться, исходя из ожидаемого типа оруденения, структурно-геологического положения аномалии, метода ее выявления и других факторов.

Критериями оценки аномалии являются ее размеры (протяженность, площадь) и интенсивность. Наибольшие по площади, протяженности и интенсивности аномалии на начальном этапе оцениваются как соответствующие более крупным и богатым объектам и заслуживают первоочередного изучения. Однако небольшая интенсивность и малые размеры радиоактивной аномалии не могут служить основанием для ее отрицательной оценки. Нередко изучение именно таких аномалий приводит к открытию месторождений. Даже в открытых районах с горно-лесным и горно-луговым ландшафтом, доступных для проведения пешеходных (в том числе шпуровых) гамма-поисков, урановое оруденение, перекрытое делювиальными отложениями мощностью не более 1—1,5 м, может проявляться на поверхности превышением над фоном всего в 0,4—0,7 пА/кг (5—10 мкР/ч), которые в шпурах глубиной 0,5 м возрастают до 2,2—3,6 пА/кг (30—50 мкР/ч).

В результате первоначальной оценки должны быть установлены:

— площадные или линейные параметры аномалий, выявленных в наземных и близповерхностных условиях; протяженность аномального интервала в скважинах и горных выработках;

— максимальное значение МЭД гамма-излучения и его природа;

— геолого-структурная позиция аномалии (приуроченность к определенным разностям горных пород, складчатым, разрывным

структурам, горизонтам осадочных пород, зонам гидротермально-метасоматических изменений пород);

— содержание урана и сопутствующих элементов по данным опробования;

— местоположение аномалии (координаты, привязка на топокарте и на местности, обеспечивающая уверенное ее обнаружение).

В результате проведения первоначальной оценки аномалии прежде всего должна быть выяснена ее возможная принадлежность к какому-либо из промышленных типов месторождений урана, установлена связь аномалии с разрывными структурами, дайками, участками метасоматических изменений, плутоническими, субвулканическими и вулканическими образованиями, определенными литологическими разностями, зонами пластового окисления и т. д.

Нельзя оценивать каждую радиоактивную аномалию изолированно, без учета имеющихся сведений по ранее оцененным объектам, находящимся в аналогичной геолого-геохимической обстановке, и результатов радиометрических исследований, проведенных в районе работ. Необходимо выделять по приуроченности к тем или иным геолого-структурным и геолого-геохимическим обстановкам типовые группы аномалий с определенными показателями и признаками, имеющими решающее значение для оценки перспектив аномалий данного типа.

В настоящее время разработано несколько подробных классификационных схем, учитывающих геологическую позицию радиоактивной аномалии, интенсивность и природу радиоактивности, ведущую радиоактивную и сопутствующую ей минерализацию, особенности процессов, обусловивших аномалию.

Большинством исследователей выделяются три класса радиоактивных аномалий в зависимости от положения их в геологическом разрезе: 1) в породах складчатого фундамента, 2) в корях выветривания пород фундамента, 3) в литифицированных и рыхлых породах осадочного чехла [Еремеев А. Н., Ключков А. С., 1981 г.].

Среди каждого класса выделяется несколько типов аномалий.

1. Аномалии, относящиеся к первому классу, выявляются в пределах щитов, геосинклинальных складчатых поясов и областей их тектоно-магматической активизации. Главнейшие промышленные типы месторождений урана, известные в этих геоструктурах, охарактеризованы в гл. 4 и 5.

Среди аномалий, относящихся к указанному классу, выделяют:

— *породные аномалии* в интрузивных и метаморфических комплексах, обусловленные радиоактивностью аксессуарных минералов (монацит, ортит, циркон, апатит, торит, ксенотим). Гамма-спектрометрическими измерениями в пределах породных аномалий обнаруживается равномерное распределение урана (радия), тория, калия при почти постоянных отношениях между ними.

Аномалии ториевой природы отбраковываются сразу, на аномалиях смешанной и урановой природы оценивается масштабность урановой минерализации;

— *аномалии, вызванные наложенной гипогенной радиоактивной минерализацией.*

Аномалии этой группы тяготеют к зонам разрывных нарушений и повышенной трещиноватости вмещающих пород с гидротермальной и метасоматической проработкой. Они характеризуются разнообразной рудной минерализацией (сложные уран-титанаты, настуран, уранинит, гидроокислы и силикаты урана и др.) и повышенным содержанием сопутствующих элементов (V, Ti, Be, Sr, Mo, As, Pb и др.), а также радиогенного свинца. Природа радиоактивных аномалий этой группы может быть урановой, ториевой и смешанной.

Аномалии этой группы, имеющие урановую и смешанную природу, представляют несомненный интерес и могут быть связаны с месторождениями урана и их первичными ореолами;

— *радиоактивные аномалии зоны окисления гипогенной радиоактивной минерализации, обусловленные развитием гипергенных урановых и ториевых минералов в зонах разрывных нарушений и повышенной трещиноватости пород; обычно их характеризуют крайне неравномерная радиоактивность, повышенные содержания элементов-спутников и радиогенного свинца. Минерализация на таких аномалиях урановой природы, обычно бывает представлена урановыми слюдками, силикатами урана, а также сорбирующими уран гетитом, гидрогетитом и др. Подобные аномалии имеют важное поисковое значение. Они требуют установления возможной связи с гипогенной урановой минерализацией и последующей оценки масштабности оруденения.*

Аномалии ториевой природы радиоактивности, образующиеся в процессе гипергенного изменения торий-редкоземельной минерализации (торит, ураноторит, монацит, ксенотим), поискового значения не имеют и отбраковываются;

— *аномалии, обусловленные концентрацией радиоактивных элементов в водопроницаемых тектонических нарушениях и зонах трещиноватости пород в результате инфильтрации, имеют в основном урановую природу радиоактивности, нередко со сдвигом равновесия в сторону урана. Для них характерно отсутствие элементов-спутников и радиогенного свинца. Отдельные аномалии такого типа обычно не представляют практического интереса, но группы аномалий, развитых на значительной площади, могут иметь поисковый интерес, указывая на возможную связь с гипогенным урановым оруденением.*

2. Среди радиоактивных аномалий в коре выветривания пород фундамента выделяют:

— *породные аномалии среди гранитоидов и пегматоидов, переработанных процессами корообразования. В случае урановой природы и широкого развития на площади работ они могут представлять поисковый интерес;*

— *радиоактивные аномалии*, связанные с вторичными остаточными ореолами рассеяния эндогенной радиоактивной минерализации, образуются в результате гипергенных изменений урановой и ториевой минерализации и обычно характеризуются неравномерным распределением радиоактивности, повышенными содержаниями элементов-спутников и радиогенного свинца. Вторичные ореолы урана обычно механическо-солевые, уран в них находится в безминеральной форме и сорбируется преимущественно гидроокислами железа и глинистыми минералами.

Аномалии урановой и смешанной природы имеют поисковое значение с точки зрения их связи с гипогенной урановой минерализацией; аномалии ториевой природы отбраковываются;

— *радиоактивные аномалии*, связанные с вторичными аккумуляциями урана в коре выветривания, тяготеют к верхней части разреза коры выветривания, обусловлены сорбцией урана гидроокислами железа и органическими остатками и нередко имеют линзообразную форму. Аномалии характеризуются сравнительно низкой радиоактивностью — 14,4 пА/кг (до 200 мкР/ч), элементы-спутники и радиогенный свинец отсутствуют. Самостоятельного практического интереса вторичные аккумуляции урана не имеют. Их поисковое значение заключается в возможном указании на источник выноса урана, т. е. на участки, перспективные для обнаружения первичного уранового оруденения.

3. Радиоактивные аномалии в литифицированных и рыхлых породах осадочного чехла. Аномалии, относящиеся к этому классу, могут являться прямым признаком экзодиагенетических, инфильтрационных и полигенных месторождений урана, описание которых приведено в гл. 6. Среди указанного класса аномалий выделяют:

— *радиоактивные аномалии*, связанные с сингенетическими накоплениями радиоактивных элементов в осадочных слабометаморфизованных и неметаморфизованных породах. При предварительной оценке этой группы аномалий отбраковываются аномалии ториевой природы, обусловленные скоплениями монацита, циркона, ильменита, рутила, ксенотима в песках, песчаниках, гравелитах (погребенные россыпи) на склонах и в депрессиях кристаллических массивов, а также аномалии урановой природы, характеризующиеся равномерной невысокой радиоактивностью в осадочных породах без признаков эпигенетических околорудных изменений. Для аномалий в углистых и горючих сланцах, углистых глинах, битуминозных сланцах, органогенных известняках, фосфоритах, слабометаморфизованных углях, характеризующихся сравнительно высоким содержанием урана, необходимо выяснение масштабов оруденения. Аномалии в темных глинах, содержащих детрит морских рыб и обогащенных пиритом и мельниковитом, требуют постановки дальнейших оценочных работ по определению масштабности оруденения;

— *радиоактивные аномалии*, связанные с эпигенетической концентрацией радиоактивных элементов в водопроницаемых по-

родах. Для аномалий этой группы нередко характерен сдвиг радиоактивного равновесия в сторону недостатка радия, вследствие чего низкой интенсивности гамма-излучения может соответствовать высокое содержание урана.

Наиболее важное поисковое значение среди аномалий этой группы имеют аномалии, приуроченные к зонам пластового окисления в водопроницаемых толщах, залегающих на склонах древних массивов. Выявление уранового оруденения вероятнее всего на границе зоны пластового окисления и неизмененных пород; урановая минерализация представлена здесь чернями, реже настураном, отмечаются повышенные концентрации селена и молибдена. Большой поисковый интерес представляют также аномалии в обеленных пиритизированных песчаниках и алевролитах с твердыми битумами на склонах куполовидных структур, осложненных разрывными нарушениями; аномалии в бурых углях в пределах депрессий на склонах древних массивов; аномалии в краевых частях маломощных пластов каменных углей, залегающих среди водопроницаемых пород, на участках перегибов складок и в зонах трещиноватости;

— *радиоактивные аномалии, приуроченные к современным рыхлым образованиям.* Это достаточно многочисленная и наиболее сложная группа аномалий, возникших за счет современного физико-химического выветривания пород, механического и солевого переноса радиоактивных элементов поверхностными, грунтовыми и пластово-трещинными водами с последующей концентрацией отдельных элементов на геохимических границах. Наибольший интерес в этой группе представляют аномалии механического происхождения с урановой природой радиоактивности; основной задачей первоначальной оценки их является вскрытие коренных пород — источника этих аномалий.

Солевые аномалии, в том числе в аллювиальных, элювиально-делювиальных рыхлых образованиях, характеризуются резкими сдвигами радиоактивного равновесия в ту или другую сторону, как правило, падением мощности экспозиционной дозы гамма-излучения с глубиной, фоновыми или пониженными содержаниями тория и калия. Сами по себе они не представляют практического интереса, однако при первоначальной их отрицательной оценке необходимы достоверные доказательства отсутствия непосредственной связи этих аномалий с рудными концентрациями. Такими доказательствами являются: отсутствие элементов-спутников урана, наличие испарительного барьера в аридных областях и сорбционно-восстановительного барьера в гумидных зонах и т. п. С другой стороны, широкое площадное развитие ореолов рассеяния урана в современных рыхлых отложениях может служить основанием для выделения данных площадей под детальное (глубинное) опоскование. На первоначальную оценку существенно влияет положение относительно дневной поверхности.

Оценка глубинных аномалий наиболее трудна в связи с необходимостью применения сложных технических средств. Вместе

с тем в последние годы в стране основным поисковым методом стал гамма-каротаж буровых скважин, которым выявляется около 60 % общего числа фиксируемых радиоактивных аномалий.

Первоначальная оценка аномалий, выявленных гамма-каротажем, складывается из следующих элементов.

1. Проведение детализационного (при возможности гамма-спектрометрического) гамма-каротажа в масштабе 1 : 50 с последующей количественной интерпретацией его результатов.

2. Определение положения радиоактивной аномалии в геологическом разрезе путем геолого-радиометрической документации керна скважин и сопоставления ее с документацией соседних скважин и геологических разрезов изученных участков.

При бескерновом бурении или же при низком выходе керна каменный материал, характеризующий аномальный интервал, отбирается с помощью грунтонасосов и керноотборников. Если каменный материал отобрать невозможно, положение радиоактивной аномалии в геологическом разрезе устанавливается по интерпретации результатов комплексного (прежде всего электрического) каротажа скважины и соседних скважин и по положению интервала с повышенной радиоактивностью относительно выделяемых в разрезе маркирующих горизонтов. Если проектом работ предусмотрено бурение скважин вблизи от аномалии, предусматривается получение по ним керна с интересующего интервала. Скважина-дублер в целях первоначальной оценки аномалии бурится только в случае благоприятного положения аномалии в разрезе и приуроченности ее к перспективным структурам в определенном рудном районе.

3. Определение природы радиоактивности аномалии с помощью гамма-спектрометрического каротажа или же в результате рентгеноспектрального анализа проб, отобранных в интервале с максимальной радиоактивностью.

4. Изучение вещественного состава керновых проб, отобранных в интервале с максимальной радиоактивностью, с целью установления урановой минерализации и характеристики эндогенного (метасоматического, гидротермального) или экзогенного эпигенетического рудообразующих процессов, парагенезиса радиоактивных и сопутствующих минералов и элементов.

5. Определение изотопного состава свинца.

6. Анализ полученных результатов, обоснованная отбраковка аномалий или выделение урановых проявлений для детальной оценки.

Основной задачей первоначальной оценки аномалий, выявленных пешеходными, авто- и аэропоисками, является установление их принадлежности к тому или иному типу концентрации урана. Для этого необходимо выяснить:

1) положение аномалии в геологическом разрезе, наличие или отсутствие литологического и структурного контроля ее локализации, связь аномалии с зонами наложенных изменений пород;

2) природу радиоактивности аномалии;

3) содержание урана и сопутствующих элементов по данным опробования;

4) количество и характер накопления во вмещающих аномалию породах радиогенного ^{206}Pb .

С этой целью на участке выявленной радиоактивной аномалии проводятся детализационные геолого-радиометрические маршруты, в результате которых определяются контуры аномалии и геологическая структурная обстановка ее локализации. Природа радиоактивности аномалии устанавливается с помощью измерений, выполняемых гамма-спектрометром, или путем определения состава радиоактивных эманаций в максимуме аномалии, а также путем отбора проб и их последующего рентгеноспектрального анализа.

В случае перекрытия флангов аномалии четвертичными отложениями они изучаются шпуровой радиометрической съемкой или с помощью проходки шурфов и канав. Отобранные в процессе оценочных работ пробы подвергаются минералогическому изучению, а также анализу на содержание урана, радия, тория, радиогенного ^{206}Pb и элементов-спутников урана.

Результаты первоначальной оценки аномалий, выявленных наземными и аэропоисковыми методами, должны быть оформлены в виде схематических геологических карт масштаба 1:2000—1:10 000 с разрезами, радиометрическими или радиогеохимическими картами-накладками с ореолами развития элементов-спутников и в виде геолого-геофизической документации горных выработок. Заключение о перспективности аномалии или же ее отбраковке дается на основании обобщения результатов всех выполненных исследований.

Основной задачей первоначальной оценки радиогидрогеологических аномалий является выявление перспективных аномалий, имеющих признаки связи с урановым оруденением. Оценка заключается в проведении повторного опробования аномального источника и дополнительного опробования близрасположенных водопунктов с целью предварительного площадного радиогидрогеологического изучения района и выявления приуроченности аномалии к определенным геологическим структурам и горизонтам. При анализе полученных материалов используются следующие положительные оценочные поисковые критерии:

а) благоприятное геолого-структурное положение района аномалии, литологический состав вмещающих пород и различные геохимические барьеры, позволяющие предполагать возможность локализации уранового оруденения. К таковым могут относиться зоны разрывных нарушений с проявлениями гидротермально-метасоматических изменений, зоны эпигенетических изменений водонепроницаемых пород, развитие в потенциально рудовмещающих горизонтах веществ, способствующих концентрации урана; нефтегазоносные структуры, содержащие окисленные твердые битумы, и т. д.;

б) наличие в районе радиоактивных аномалий, выявленных другими методами поисков;

в) совместное нахождение в водах аномальных количеств всех трех радиоактивных элементов: урана, радия и радона. При этом резко повышенные концентрации радона часто указывают на непосредственную близость урановорудных концентраций, хотя высокие содержания радона в подземных водах могут быть связаны и с образованием так называемых эманулирующих коллекторов;

г) повышенное содержание в водах элементов-спутников урана: молибдена, свинца, цинка, меди и др.;

д) благоприятный изотопный состав радиоактивных элементов в водах.

Кроме того, при первоначальной оценке радиогидрогеологических аномалий учитываются глубина формирования и динамика вод, минерализация, их солевой и газовый состав, значения рН и Eh, уточняется местный радиогеохимический фон. На аномалиях, отнесенных в процессе первоначальной оценки к перспективным, продолжаются уже детальные оценочные работы.

10.3. Детальная оценка радиоактивных аномалий и рудопроявлений урана

Детальная оценка радиоактивных аномалий и рудопроявлений урана проводится с целью определения масштабности оруденения и выяснения целесообразности проведения на объекте геологоразведочных работ. Оценочные работы проводятся по специальному проекту, при составлении которого учитываются результаты предшествовавших геолого-геофизических исследований, в том числе результаты дешифрирования аэро-космофотоматериалов и АГСМ-съемки. В проекте исходя из принадлежности объекта к ожидаемой ураново-рудной формации и условий ведения работ конкретизируются задачи исследований и намечается рациональный комплекс поисковых работ.

Проектом должно предусматриваться изучение геологического строения участка геологическим картированием с радиометрическими измерениями, использованием фотоматериалов и результатов предшествовавших геофизических съемок более мелких масштабов. Эти работы проводятся в масштабах 1 : 2000 : 10 000 на участке от 0,5 км² до нескольких квадратных километров, охватывающей всю площадь гамма-аномалии и проявления урановой минерализации. В условиях плохой обнаженности и сложного геологического строения проводятся съемки одним или несколькими методами структурной геофизики в площадном или профильном вариантах.

Использование методов структурной геофизики при оценке радиоактивных аномалий не может быть строго регламентировано. Урановые рудные тела и залежи сами по себе не вносят заметных искажений в гравитационное, магнитное, электрическое поле, но за редкими исключениями либо сопровождаются сульфидной

минерализацией, либо локализуются в зонах гидротермально-метасоматических изменений, которые отличаются по ряду физических свойств от вмещающих пород. Так, на одном из кристаллических щитов буровые поиски урановых месторождений в альбититах проводятся на площадях, предварительно изученных гравиметрической и магнитной съемкой в масштабе 1:10 000. В рудной провинции, где уран-молибденовые месторождения локализуются в мезозойских вулкано-тектонических структурах, при поисково-оценочных работах на каждом квадратном километре выполняется не менее 500 наблюдений магнито- и электро-разведки. В районе с урановым оруденением в зонах эйситов и березитов магниторазведка проводится на всех участках оценочных работ, грави- и электроразведка — на одной трети. В районах, где урановое оруденение локализуется в чехле древних и молодых платформ, применение методов структурной геофизики на этапе оценочных работ малоэффективно.

С учетом результатов геолого-геофизических исследований планируется проходка канав, шурфов и бурение скважин для вскрытия и прослеживания радиометрических ореолов, основных геологических структур и геофизических аномалий. В полузакрытых районах примерные объемы поверхностных горных выработок на каждом оцениваемом проявлении составляют обычно первые тысячи кубических метров. При постановке буровых работ на каждый объект затрачивается в среднем 500 — 1000 м неглубоких скважин, задаваемых по одному-двум профилям.

Предусматривается также геолого-радиометрическая документация выработок и керн скважин, радиометрическое, литохимическое и бороздовое опробование с последующим минералогическим петрографическим изучением отобранного материала. Для полукочливостенного определения содержания радиия, тория, калия необходимо проведение гамма-спектрометрий по профилям через центры ореолов радиоактивности по канавам и расчисткам, вскрывающим рудные выходы и зоны гидротермально-метасоматических изменений. Шаг измерений по каждому профилю и выработке зависит от степени изменчивости интегральной гамма-активности. Объемы спектральных наблюдений на каждом участке детальных оценочных работ составляют 100 — 300 физических точек. Каротаж оценочных скважин следует проводить также по возможности в спектральном варианте, дополняя его электрическим и магнитным каротажем для более полной характеристики разреза и интерпретации геофизических аномалий на поверхности.

С целью контроля результатов радиометрического опробования и для определения коэффициента радиоактивного равновесия между ураном и радием проводится бороздовое опробование по наиболее продуктивным рудным интервалам или минерализованным зонам с обязательным выходом одной-двух секций борозды во вмещающие породы. Содержания урана и тория в пробах определяются рентгеноспектральным методом. Часть проб, охватывающая весь диапазон концентраций урана, подвергается

радиохимическому анализу на радий. По отношению к числу точек радиометрического опробования количество бороздовых проб может составлять от 10 до 30 %.

Помимо распределения радиоактивных элементов для правильной оценки перспективности аномалии с точки зрения комплексности руд, степени окисления и выщелоченности рудных тел и ореолов, уровня их эрозионного вскрытия на этой стадии работ изучаются сопутствующие и индикаторные элементы, изотопный состав свинца в рудах, ореолах, зонах околорудных изменений и во вмещающих породах. Полезными компонентами в урановых рудах могут быть молибден, рений, ванадий, золото, селен и др.

В результате проведения детальной оценки радиоактивных аномалий и рудопроявлений составляется следующая геолого-геофизическая документация.

1. Геолого-структурная карта масштаба 1 : 20 000 — 1 : 10 000 с необходимым количеством разрезов.
2. Карта условий ведения поисков в масштабе геологической карты с нанесением элементов ландшафтно-геохимических признаков.
3. Радиометрическая карта-накладка.
4. Полиэлементная геохимическая карта-накладка.
5. Карта интерпретации геофизических исследований.
6. Схема распространения гидротермально-метасоматических и эпигенетических изменений пород.
7. Геолого-радиометрическая документация горных выработок и скважин.
8. План опробования с зарисовками характерных рудных пересечений.

Обобщение результатов всех проведенных исследований служит основой для вывода и целесообразности постановки на объекте геологоразведочных работ и использовании полученных результатов для направления последующих поисковых работ в районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альтгаузен М. Н. Причины возникновения эпохи накопления редких металлов и фосфора в морских осадках нижнего палеозоя. М., Госгеолтехиздат, 1956. с. 16.
- Альтгаузен М. Н. Уран.— В кн.: Металлы в осадочных толщах. М., Наука, 1966, с. 102—152.
- Антильчева Е. И., Панов И. А. Условия образования и закономерности размещения урановых месторождений, связанных с нефтегазоносными структурами. М., 1969. 301 с. (Мин. геол. СССР).
- Антропов П. Я., Евсева Л. С., Полурашинов Г. П. Месторождения урана в осадочных породах депрессий.— Сов. геология, 1977, № 9, с. 32—36.
- Барабаш А., Вират К., Винце Я. Механизм образования осадочных урановых руд на примере Мечекского месторождения (Венгерская Народная Республика).— Литология и полезные ископаемые, 1966, № 2, с. 87—91.
- Бартел Ф. Х. Обзор урановых месторождений в пермских отложениях Европы и урановая минерализация в пермских песчаниках.— В кн.: Образование месторождений урана. М., Мир, 1976, с. 299—302.
- Батурич Г. Н. Уран в современном морском осадкообразовании. М., Атомиздат, 1975. 152 с.
- Батурич С. Г., Головин Е. А., Зеленова О. И. Экзогенные эпигенетические месторождения урана. Условия образования. М., Атомиздат, 1965. 323 с.
- Белевцев Я. Н. Метаморфогенное рудообразование. М., Недра, 1979. 275 с.
- Белов В. В. Геология и вопросы генезиса месторождения ураноносных апатитов.— В кн.: Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. М., Наука, 1968, с. 109—128.
- Белова Л. Н. Зона окисления гидротермальных месторождений урана. М., Недра, 1975. 158 с.
- Билибин Ю. А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М., Госгеолтехиздат, 1955. 86 с.
- Билибина Т. В., Донаков В. И., Титов В. К. О гидротермальном урановом оруденении, связанном с щелочными интрузивными комплексами.— Геол. руд. месторождений, 1963, № 5, с. 35—54.
- Булатов С. Г., Шегочкин В. Н. Минералого-геохимические особенности уранового оруденения, наложенного на окисленные породы.— Изв. АН СССР, Сер. геол., 1975, № 6, с. 38—52.
- Вайн Дж. Урансодержащие угли в США.— В кн.: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Т. 6. Госгеолтехиздат, М., 1958, с. 525—531. (Тр. II Междунар. конф. по мирному использованию атомной энергии. Женева).
- Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения. М., Госгеолтехиздат, 1968. 464 с.
- Гарбузова В. Ф., Данковцев Р. Ф., Кисляков Я. М. Условия локализации эндогенного уранового оруденения в континентальных терригенных формациях верхнего структурного этажа активизированных областей.— В кн.: Очерки по геологии и геохимии рудных месторождений. М., Наука, 1970, с. 91—112.

- Геологические особенности и ураноносность формаций черных сланцев/* Р. В. Гецева, А. А. Дерягин, Н. А. Созинов и др. М., Наука, 1981. 120 с.
- Геология месторождений уран-молибденовой рудной формации/* В. П. Власов, И. М. Воловикова, Г. Д. Гладышев и др. М., Атомиздат, 1966. 184 с.
- Гецева Р. В.* Некоторые данные о поведении урана при метаморфизме.— В кн.: Вопросы прикладной радиогеологии. М., Госатомиздат, 1963, с. 208—227.
- Гецева Р. В., Дерягин А. А.* О минералого-геохимических особенностях одного из осадочно-метаморфогенных месторождений урана.— В кн.: Вопросы прикладной радиогеологии. М., Госатомиздат, 1963, с. 71—93.
- Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования/* С. Г. Батурин, Г. В. Грушевой, О. И. Зеленова и др. Под ред. А. И. Перельмана. М., Атомиздат, 1980. 270 с.
- Глаголев Н. А.* Минералогические особенности и условия формирования одного из стратиформных месторождений урана.— Геол. руд. месторождений, 1980, т. 22, № 6, с. 106—111.
- Глубинные поиски рудных месторождений/* Под ред. А. Н. Еремеева, А. П. Соловова. М., Госгеолтехиздат, 1963. 188 с.
- Горшков А. А.* Месторождения в молассовых отложениях орогенного яруса.— В кн.: Гидротермальные месторождения урана. М., Недра, 1978. 446 с.
- Готман Я. Д., Голева Р. В.* Баланс вещества при формировании натриевых метасоматитов.— Геол. журнал, 1973, № 4, с. 16—24.
- Данчев В. И., Стрелянов Н. П.* Ураноугольные месторождения и их главнейшие генетические типы.— Геол. руд. месторождений, 1973, № 3, с. 66—81.
- Данчев В. И., Стрелянов Н. П.* Экзогенные месторождения урана. М., Атомиздат, 1979. 245 с.
- Два класса руд и рудоконтролирующей пластовой зональности на эпигенетическом месторождении урана/* Г. А. Машковцев, А. И. Рослый, Е. М. Шмаринич и др.— Сов. геология, 1974, № 7, с. 56—68.
- Домарев В. С.* Геология урановых месторождений капиталистических стран. М., Госгеолтехиздат, 1956. 271 с.
- Дополнения к инструкции по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений.* Мингео СССР, 1981. 67 с.
- Дымков Ю. М.* Урановая минерализация Рудных гор. М., Госатомиздат, 1960. 100 с.
- Егоров Ю. П., Сухинин А. Н.* Некоторые закономерности формирования метасоматических месторождений урана в докембри.— Геол. журнал АН УССР, 1969, № 2, с. 49—57.
- Еремеев А. Н., Клочков А. С.* Принципы и основы положения методики оценки глубинных геохимических аномалий.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений. Ч. I. М., Наука, 1981, с. 60—66.
- Железняк Н. Н.* Условия образования урановых руд в древних пестроцветных толщах.— В кн.: Месторождения урана. Зональность и парагенезисы. М., Атомиздат, 1970, с. 292—319.
- Жуков Ф. И.* Рудные месторождения в породах низких ступеней метаморфизма Карпато-Балканской области. Киев, Наукова думка, 1978. 168 с.
- Закономерности размещения уран-молибденового оруденения в вулканотектонических сооружениях областей континентального вулканизма/* А. А. Лебедев-Зиновьев, И. С. Модников, Г. И. Фролов и др.— Изв. АН СССР, Сер. геол., 1978, № 2, с. 112—127.
- Зеленова О. И., Кондратьева И. А., Лисицин А. К.* Эпигенетические изменения красноцветных пород и урановое рудообразование над залежами углеводородов.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1969, № 2, с. 68—89.
- Иванов Г. А.* Основы генетической классификации угленосных формаций.— В кн.: IV Всесоюзное литологическое совещание. Тексты докладов и сообщений. Ташкент, 1959, с. 146—151.
- Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений.* М., Недра, 1965. 228 с.
- Инструкция по гамма-каротажу скважин при массовых поисках урана.* Мингео СССР, 1982. 104 с.
- Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений.* М., Мингео СССР, 1974. 108 с.

Ипполитов М. Ф. Урансодержащие формации верхнепалеозойских пород Альп.— В кн.: Геология атомного сырья. М., 1959, с. 204—210.

Каждан А. Б. Месторождения уран-молибденовой рудной формации.— В кн.: Вопросы прикладной радиогеологии. Вып. 2. М., Атомиздат, 1967, с. 287—325.

Казаков В. С., Кузьменко А. В., Руткевич И. С. Условия локализации ураноносных альбититов в зоне крупных разломов нижнего структурного этажа.— В кн.: Геология и вопросы генезиса урановых месторождений. М., Наука, 1968, с. 29—42.

Казанский В. И., Лаверов Н. П., Тугаринов А. И. Эволюция уранового рудообразования. М., Атомиздат, 1978. 208 с.

Карпова Е. Д., Смыслов А. А., Шувалов Ю. М. Фанерозойский глыбовый тектогенез и рудообразование.— В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 2. М., Наука, 1975, с. 26—41.

Ковалев А. А. О полнценности уранового оруденения в угленосных отложениях.— Сов. геология, 1970, № 10, с. 59—70.

Корничук И., Буртик Т. Литолого-фациальные условия локализации урановых рудопроявлений в пермских отложениях в Социалистической Республике Румынии.— В кн.: Образование месторождений урана. М., Мир, 1976, с. 355—369.

Котляр В. Н. Геология и генетические типы промышленных месторождений урана. М., Госгеолтехиздат, 1961. 246 с.

Котляр В. Н. Формация месторождений в углисто-кремнистых сланцах.— В кн.: Месторождения радиоактивных и редких металлов. М., Атомиздат, 1973, с. 268—273.

Коченов А. В., Зиновьев В. В. Некоторые особенности накопления урана в торфяниках.— Геохимия, 1965, № 1, с. 97—103.

Коченов А. В., Расулова С. Д. Факторы, контролирующие распространение урана между водной фазой и донными осадками в различных природных условиях.— В кн.: Поиск урановых месторождений в условиях горной тайги. М., Атомиздат, 1971. 215 с.

Крашенинников Г. Ф. Условия накопления угленосных формаций СССР. М., Изд-во МГУ, 1957. 294 с.

Крупеников В. А. Уранинитовые месторождения среди пегматоидных гранитов и мигматитов.— В кн.: Гидротермальные месторождения урана. М., Недра, 1978, с. 86—94.

Крупеников В. А., Кашипор А. А., Лихоманов А. Г. Особенности локализации уранового оруденения в крупных разломах кристаллического фундамента.— В кн.: Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. М., Наука, 1968, с. 15—28.

Лаверов Н. П. Важнейшие урановые месторождения Австралии. Геология и генетические особенности.— В кн.: Проблемы геологии и полезных ископаемых на XXV сессии Международного геологического конгресса. М., Наука, 1979, с. 200—211.

Лаверов Н. П., Барсуков В. Л. Урановые месторождения района Аллигейтор-Риверс (Северная Австралия).— Геол. рудн. месторождений, 1977, № 2, с. 16—32.

Лаверов Н. П., Чернышев И. В. Временная связь урановых месторождений с континентальным вулканизмом.— В кн.: Геохронология и проблемы рудообразования. М., Наука, 1977, с. 5—18.

Лисицына Г. А., Рудонис П. А. Особенности окolorудных изменений на уран-молибденовых и золотых месторождениях одного рудного узла.— В кн.: Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. М., Наука, 1968, с. 471.

Лопаткина А. П. Условия накопления урана торфами.— Геохимия, 1967, № 6, с. 708—719.

Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений (принцип и практика поисков). М., Изд-во АН СССР, 1963. 264 с.

Мендельсон Ф. Медный пояс Северной Родезии. М., Изд-во Иностранной литературы, 1963. 473 с.

Месторождения урана и редких металлов. М., Атомиздат, 1976. 284 с.

Месторождения в вулcano-тектонических депрессиях и вулканических куполах орогенного яруса/Н. П. Лаверов, И. В. Мельников, Б. М. Семенов, А. Е. Толкунов.— В кн.: Гидротермальные месторождения урана. М., Недра, 1978, с. 24—40.

Металлогения урана континентальных блоков земной коры/Г. В. Афанасьев, С. В. Бузовкин, Б. Б. Голубев и др. Л., Недра, 1980. 256 с.

Методы поисков урановых месторождений/Под ред. Д. Я. Суражского. М., Недра, 1969. 392 с.

Минева П. Г., Копченова Е. В. О соотношении метасоматической и рудной зональности в процессе формирования ураноносных альбититов докембрия.— В кн.: Метасоматизм и рудообразование. Л., Мингео СССР и АН СССР, 1976, с. 56—57.

Минералого-геохимические особенности формирования некоторых малосернистых месторождений урана/И. В. Мельников, И. В. Дубова, М. С. Климова и др.— В кн.: Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. М., Наука, 1968, с. 388—420.

Морфология и состав термальных эпигенетических новообразований на гидротермальном месторождении урана/Г. А. Машковцев, И. И. Ткаченко, В. Н. Щеточкин и др.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1979, № 12, с. 119—131.

Мошер Д., Роунтри Д. Джабилука.— В кн.: Полезные ископаемые Австралии и Папуа — Новой Гвинеи. Т. 1. М., Мир, 1980, с. 505—512.

Нагля В. В., Овчинников Л. И. Радиометрические и ядерно-физические методы разведки. М., Недра, 1982. 343 с.

Некрасова З. А. К вопросу о генезисе уранового оруденения в углях.— В кн.: Вопросы геологии урана. М., Атомиздат, 1957, с. 37—54.

Ниту Ж. Тектоно-магматические условия формирования урановых месторождений Румынии.— В кн.: Образование месторождений урана. М., Мир, 1976, с. 699—713.

Образование месторождений урана/Р. Г. Додсон, Р. С. Нидхем, Д. С. Уилкс и др.— В кн.: Труды симпозиума по образованию месторождений урана (Афины. 6—10 мая 1974 г.). М., Мир, 1976, с. 546—582.

Определение редких и радиоактивных элементов в минеральном сырье/Под ред. Г. В. Остроумова. М., Недра, 1983. 250 с.

Островская Г. Я. Об уране в породах угленосных формаций.— Атомная энергия, 1970, т. 28, № 6, с. 467—474.

О структурных и петрологических условиях образования ураноносных альбититов/В. Н. Казанский, В. А. Крупенников, Б. П. Омеляненко и др.— Геол. руд. месторождений, 1968, № 1, с. 3—16.

Пельменев М. Д. Структурно-геологические позиции урановых месторождений в слоистых толщах верхнего структурного этажа.— В кн.: Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. М., Наука, 1968, с. 358—372.

Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. 3-е изд. М., Недра, 1968. 318 с.

Петров Р. П., Карпенко В. С., Мещерский Ю. А. О месторождениях урана в железорудных формациях докембрия. М., Атомиздат, 1969. 71 с.

Рассел Р. Связь уранорудных месторождений с нефте- и газоносными структурами.— В кн.: Геология атомного сырья. М., Атомиздат, 1959, с. 81—92.

Рогова В. П. Ломонтитизация — новый тип околорудных изменений.— В кн.: Метасоматизм и рудообразование (тез. докл. на IV Всесоюз. конф.). Л., 1976, с. 142—143.

Рыбалов Б. Л. Структурные особенности и вопросы генезиса урановых месторождений, залегающих в черных сланцах и карбонатных породах.— Геол. руд. месторождений, 1965, № 2, с. 3—24.

Семенов А. И. Некоторые вопросы металлогении урана.— В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 110—135.

Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре. Л., Недра, 1974. 231 с.

Стрежкин М. Ф., Железняк Н. Н., Заварзин А. В. Некоторые вопросы формирования браннеритовых руд.— В кн.: Вопр. прикл. радиогеологии. Вып. 2. М., Атомиздат, 1967, с. 60—89.

- Строна П. А. Главные типы рудных формаций. Л., Недра, 1978. 199 с.
- Структурные особенности и история формирования одного из месторождений натриево-урановой формации/Н. П. Гречишников, В. А. Зинченко, О. А. Крамер и др.—Геол. журнал, 1973, № 4, с. 56—64.
- Тузаринов А. Н., Наумов В. Б. Термобарометрические условия формирования гидротермальных урановых месторождений.—Геохимия, 1969, № 2, с. 131—146.
- Условия локализации гидротермального уранового оруденения в слоистых толщах верхнего структурного этажа/Ф. И. Вольфон, В. Е. Вишняков, Л. П. Ишукова и др.—Изв. АН СССР. Сер. геол., 1967, № 11, с. 114—134.
- Условия образования месторождений урана в вулканогенных депрессиях/В. Л. Барсуков, Г. Д. Гладышев, В. Н. Козырев и др. М., Атомиздат, 1972. 312 с.
- Хилперт Л., Менч Р. Месторождения урана в южной части бассейна Сан-Хуан, Нью-Мексико.—В кн.: Новые материалы об урановой провинции Амброзия-Лейк, США. М., ОНТИ ВИЭМС, 1962, вып. 28, с. 3—34.
- Шиловский П. П., Сидельникова В. Д. Геохимические ассоциации и зональное строение уран-селеновых рудных тел в песчаниках красноцветной толщи.—В кн.: Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М., Наука, 1966, с. 237—280.
- Шмарювич Е. М. Концентрации редких элементов, связанные с кислородной пластовой зональностью водоносных горизонтов.—В кн.: Состояние и задачи советской литологии. Т. 2. М., Наука, 1970, с. 181—189.
- Шмарювич Е. М. О механизме пластово-инфильтрационного рудоотложения.—Сов. геология, 1976, № 2, с. 80—89.
- Шумлянский В. А. Пример эпигенетического восстановления пород над нефтегазоносной структурой.—Литология и полезные ископаемые, 1967, № 3, с. 134—138.
- Щеточкин В. Н. Изменения углекисло-битумного типа на урановых месторождениях пластовой кислородной зональности.—Литология и полезные ископаемые, 1970, № 4, с. 92—101.
- Ayres D. E., Eadington P. J. Uranium mineralization in the South Alligator River valley.—Min. Deposita, 1975, v. 10, N 1, p. 27—41.
- Coetzee C. B. The geology of the Orange Free State gold-field. 1960. 198 p.
- Dahlkamp F. J. Geologic appraisal of the Key Lake U—Ni deposits, northern Saskatchewan.—Econ. Geol., 1978, v. 73, N 8, p. 1430—1449.
- Eargle D. H., Dickinson K. A., Davis B. O. South Texas uranium deposits.—Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 1975, v. 59, p. 766—779.
- Harshman E. N. Uranium ore rolls in the United States.—In: Uranium exploration geology. Proceed. Panel, Vienna, 13—17 April 1970. Vienna, 1970, p. 219—230.
- Hegge M. R. Geologic setting and relevant exploration features of the Jabluka uranium deposits.—CIM Bull., 1977, v. 70, N 788, p. 50—61.
- Hegge M. R., Rowntree J. C. Geologic setting and concepts on the origin of uranium deposits in the East Alligator River region, N. T., Australia.—Econ. Geol., 1978, v. 73, N 8, p. 1420—1429.
- Hoeve J., Sibbald Th. I. I. On the genesis of Rabbit Lake and other unconformity—type uranium deposits in northern Saskatchewan, Canada.—Econ. Geol., 1978, v. 73, N 8, p. 1450—1473.
- Hutte J. B. U₃O₈ production now under way at Ambrosia-Lake district.—Eng. Min. Journ., 1958, v. 158, p. 86—92.
- Kantor J. Príspevok k poznaniu veku nektorych granitov a s nimi Spätych lozisk Zapadnych Karpat.—Acta geol. et geograf. Univ. comenianse. Geol. 1959, v. 23, s. 63—73.
- Knox J. A., Cruner J. W. Mineralogy of the Ambrosia Lake uranium deposits in McKinley County, New-Mexico.—U. S. Atomic Energy Comm. RWE—3148, 1957.
- Langford F. F. A supergene origin for vein type uranium ores in the light of the Western Australian calcrete—carnotite deposits.—Econ. Geol., 1974, v. 69, N 4, p. 516—526.

Nininger R. D. a. o. The genesis of uranium deposits.—In.: Report of the 21st Intern. Geol. Congress. P. 15. Copenhagen, 1960, p. 40—50.

Noble E. A. Genesis of uranium belts of the Colorado Plateau.—In.: Report of the 21st Intern. Geol. Congress. P. 15. Copenhagen, 1960, p. 26—39.

Pretorius D. A. The nature of the Witwatersrand gold—uranium deposits.—Univ. Witwatersrand Johannesburg Econ. Geol. Res. Unit. Inform. Circular, 1974, N 86, p. 1—50.

Rapaport J., Hadfield J. O., Olson R. H. Jurassic rocks of the Zuni uplift, New-Mexico.—U. S. Atomic Energy Comm. RMO-642, 1952.

Rojkovič I. Mineralogical—geochemical characterization of U—Mo—Cu mineralization in the Permian of the Spišsko—Gemerské rudohorie.—Geol. Zbornik. Geol. Carpathica, 1968, t. 19, N 1, p. 179—204.

— *Uranium in the Pine Creek Geosyncline.* Proceed. International Uranium Symposium on the Pine Creek Geosyncline ..., Sydney, 4—8 June 1979. Vienna. IAEA, 1980. 760 p.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Основные особенности геохимии урана. <i>Ю. М. Шувалов</i> . . .	4
1.1. Геохимия урана в литосфере	6
1.2. Геохимия урана в гидросфере	7
1.3. Геохимия урана в биосфере	7
Глава 2. Ведущие типы урановорудных и ураноносных формаций и урановых месторождений. <i>Ю. М. Шувалов</i>	8
Глава 3. Главнейшие структурные элементы континентальной земной коры и основные закономерности размещения уранового оруденения (урановорудные эпохи и провинции). <i>Ю. М. Шувалов</i>	16
3.1. Древние платформы (основания и проточехлы) и области их докембрийской активизации	21
3.2. Фанерозойские подвижные пояса и области фанерозойской активизации	25
3.3. Чехлы древних и молодых платформ и области их мезозойской активизации	28
Глава 4. Главнейшие типы урановых месторождений в щитах, основаниях платформ и областях их активизации	31
4.1. Урановые и золото-урановые месторождения в метаморфизованных конгломератах, гравелитах и песчаниках. <i>Г. Б. Кочкин, Ю. М. Шувалов</i>	—
4.2. Урановые месторождения в пегматоидных гранитах и кварц-микроклиновых метасоматитах областей регионального метаморфизма и интенсивной гранитизации. <i>В. К. Титов</i>	35
4.3. Урановые месторождения в натровых и карбонатных метасоматитах по ультраметаморфическим и железистым породам областей протоактивизации. <i>В. К. Титов</i>	40
4.4. Урановые месторождения в зонах кальций-магнезиального метасоматоза в углеродсодержащих сланцах, песчаниках и доломитах протоплатформенных комплексов. <i>Ю. М. Шувалов</i>	46
4.5. Уран-никелевые месторождения в метаморфизованных аркозовых песчаниках и гравелитах (Атабаска, Северный Саскачеван). <i>Ю. М. Шувалов</i>	50
4.6. Медно-урановые месторождения в метаморфизованных песчаниках, сланцах и доломитах. <i>Г. Б. Кочкин</i>	58
4.7. Урановые месторождения в калиевых метасоматитах по метаморфическим, ультраметаморфическим и щелочным магматическим породам в областях тектоно-магматической активизации щитов. <i>В. К. Титов</i>	63

Глава 5. Главнейшие типы урановых месторождений в геосинклинально-складчатых поясах и областях их активизации	69
5.1. Урановые, фосфорно-урановые и молибден-урановые месторождения в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в срединных массивах и геосинклинальных прогибах. <i>Ю. М. Шувалов</i>	—
5.2. Молибден-урановые месторождения в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в вулканических полях позднеорогенных областей. <i>А. В. Булычев, В. Д. Алексеев</i>	74
5.3. Урановые и молибден-урановые месторождения в зонах кислотного выщелачивания и щелочного метасоматоза в вулканических полях областей тектоно-магматической активизации. <i>С. В. Бузовкин, М. Д. Пельменев</i>	78
5.4. Урановые месторождения в эрозионно-тектонических впадинах областей тектоно-магматической активизации. <i>М. Д. Пельменев, С. В. Бузовкин</i>	90
5.5. Урановые месторождения в красноцветных отложениях орогенной стадии развития. <i>Г. П. Полуаршинов</i>	97
5.6. Урановые месторождения в зонах разломов в лейкократовых гранитах. <i>С. В. Бузовкин</i>	103
5.7. Уран-битумные месторождения в кристаллических породах срединных массивов. <i>Л. Н. Щербаков</i>	107
5.8. Месторождения, пространственно и генетически связанные с ураноносными углеродистыми сланцами. <i>Б. Б. Голубев</i>	113
5.9. Осадочные урановые месторождения. <i>Б. Б. Голубев</i>	117
5.10. Гидротермальные урановые месторождения. <i>Г. П. Полуаршинов, Г. В. Дитмар</i>	118
5.11. Инфильтрационные урановые месторождения. <i>Б. Б. Голубев</i>	126
Глава 6. Главнейшие типы урановых месторождений в чехле древних и молодых платформ и наложенных депрессиях	132
6.1. Урановые месторождения в угленосных молассондных отложениях. <i>Г. Я. Островская, Я. М. Кисляков</i>	—
6.2. Урановые месторождения в карбонатно-терригенных породах плитных комплексов и наложенных впадин в связи с грунтовым и пластовым окислением. <i>Е. М. Шмариович</i>	140
6.3. Уран-битумные месторождения в терригенных породах плитного комплекса активизированной древней платформы. <i>Л. Н. Щербаков</i>	155
6.4. Урановые месторождения в аллювиальных и озерных отложениях палеодолин. <i>К. А. Григорьев</i>	162
6.5. Урановые месторождения в аллювиальных и пойменно-болотных отложениях палеодолин неогенового возраста. <i>М. В. Колесов</i>	167
6.6. Урановые месторождения в кайнозойских площадных корках выветривания на древнем фундаменте в связи с калькретами. <i>М. В. Колесов</i>	172
Глава 7. Геологические предпосылки и поисковые признаки урановых месторождений. <i>С. В. Бузовкин, Ю. М. Шувалов</i>	177
7.1. Щиты, основания древних платформ и области их активизации	178
7.2. Геосинклинально-складчатые сооружения и области их активизации	183
7.3. Чехлы древних и молодых платформ и области их активизации	189

Глава 8. Методы поисков урановых месторождений	193
8.1. Общие сведения о методах и видах поисков месторождений урана. Г. А. Шмонов	—
8.2. Стадийность и общее комплексирование поисковых работ. Г. А. Шмонов	196
8.3. Литогеохимические поиски. Г. А. Шмонов, В. В. Дунаев, Е. Б. Высокоостровская, А. И. Краснов	197
8.4. Радиогидрогеологический метод. Г. М. Шор	221
8.5. Атмогеохимические методы. Г. А. Шмонов, В. В. Дунаев	224
8.6. Биогеохимические методы. Г. А. Шмонов	227
8.7. Лабораторные исследования при поисках месторождений урана. В. В. Дунаев	228
Глава 9. Особенности массовых поисков месторождений урана	234
9.1. Аэрогамма-спектрометрическая съемка. Г. А. Шмонов	235
9.2. Геологическое картирование, инженерно-геологические изыскания, поиски, разведка и добыча полезных ископаемых. С. Н. Немцов, Г. А. Шмонов	—
9.3. Гамма-картаж скважин с целью массовых поисков урана. С. Н. Немцов, В. В. Дунаев	238
9.4. Массовые поиски месторождений урана при гидрогеологических исследованиях. Г. А. Шмонов, Г. М. Шор	241
Глава 10. Оценка радиоактивных аномалий. О. Д. Горбунов, И. Д. Ермаков, Г. А. Шмонов	243
10.1. Особенности выделения радиоактивных аномалий	—
10.2. Первоначальная оценка радиоактивных аномалий	245
10.3. Детальная оценка радиоактивных аномалий и рудопроявлений урана	252
Список литературы	255

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ
УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
И МЕТОДЫ ИХ ПОИСКОВ

Редактор-наладчик Г. С. Гурьян
Редактор-корректор В. Т. Левинко
Технический редактор Н. П. Сидорова
Корректоры В. Н. Жданова, О. П. Шабалина

№ 10 1967

В книге описаны методы и виды поисков урановых месторождений, рассмотрены особенности массовых поисков урана при гидрогеологических исследованиях, оценка радиоактивных аномалий и рудопроявлений урана.

Книга предназначена для геологов, инженеров, работающих в области поисков урановых месторождений, а также для студентов геологических специальностей вузов.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ
УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
И МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ

Редактор издательства В. Г. Чирков
Переплет художника В. Т. Левченко
Технический редактор Н. П. Старостина
Корректоры В. Н. Малахова, О. Г. Шаляпина

ИБ № 4867

Сдано в набор 12.04.84. Подписано в печать 28.08.84. М-38168. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 16,5.
Усл. кр-отт. 16,5. Уч.-изд. л. 17,99. Тираж 3450 экз. Заказ № 175/688. Цена
1 р. 30 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12.
Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленин-
градского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союз-
полиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6.

4677