

*Для служебного пользования*

Экз. № 243

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ  
ПРОЯВЛЕНИЯ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ  
И ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ  
КРУПНОМАСШТАБНОГО  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО  
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
УРАНОНОСНЫХ РАЙОНОВ**

*Для служебного пользования*

Экз. №

943

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ  
ПРОЯВЛЕНИЯ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ  
И ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ  
КРУПНОМАСШТАБНОГО  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО  
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
УРАНОНОСНЫХ РАЙОНОВ

В книге характеризуются геологические условия проявления уранового оруденения различных генетических типов и рассматриваются некоторые вопросы методики изучения ураноносных и перспективных по урану районов при крупномасштабном геологическом картировании.

Генетическая классификация урановых месторождений построена с учетом их положения в главнейших структурных элементах земной коры — в складчатых областях, на платформах, в областях активизации. Приводится характеристика геологических условий проявления большинства важных в практическом отношении типов эндогенного и экзогенного уранового оруденения, включающая как региональные геологические критерии, так и локальные поисковые признаки, даются рекомендации по рациональному комплексу методов изучения ураноносных районов.

Подробно рассматривается вопрос о специфике применения геологических и геохимических методов при крупномасштабном геологическом картировании и прогнозировании ураноносных районов в областях интенсивного проявления позднеорогенного вулканогенно-интрузивного магматизма, а также рациональном комплексировании геологических и общих геофизических методов при изучении закрытых площадей, перспективных на различные типы уранового оруденения.

Многие разделы книги иллюстрируются геологическими, геохимическими схемами и макетами крупномасштабных карт, отражающих геологическую обстановку в районах проявления тех или иных типов уранового оруденения, либо показывающих применение некоторых методов исследования ураноносных районов и приемы графического отображения результатов исследований.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, проводящих крупномасштабные геологосъемочно-поисковые работы в ураноносных и перспективных по урану районах.

Редакционная коллегия:

Главный редактор *И. С. Ожинский*  
Ответственный редактор *Г. Н. Шапошников*  
*З. Н. Балашова, Г. В. Грушевой, М. И. Ицксон*  
*А. А. Смыслов*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы вопросы организации и методики крупномасштабного геологического картирования страны как основы поисковых работ на все виды полезных ископаемых являются предметом большого внимания со стороны Министерства геологии СССР, его научно-исследовательских институтов, территориальных управлений и трестов.

Важным этапом в решении этих вопросов явился всесоюзный семинар-совещание геологов по организации и производству крупномасштабных геологосъемочных и поисковых работ, проведенный в апреле 1966 г. Материалы совещания и рассмотренные на нем временные указания по организации и производству геологосъемочно-поисковых работ в м-бе 1 : 50 000 (1 : 25 000) способствовали правильному пониманию задач крупномасштабного картирования как надежной основы эффективного геологического прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых.

В дальнейшем, на основе временных указаний, с учетом решений совещания были разработаны «Основные положения организации и производства геологосъемочных работ м-ба 1 : 50 000 (1 : 25 000)» (1968), утвержденные Министерством геологии СССР в качестве основного документа, определяющего задачи крупномасштабных геологосъемочных работ, порядок их организации и производства, требования к содержанию составляемых геологических и других карт. В отличие от ранее действовавшей «Инструкции по организации и производству геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 и 1 : 25 000» (1956) в этом документе впервые закреплено важнейшее принципиальное требование о том, что комплекс различных методов исследований при крупномасштабных геологосъемочно-поисковых работах при выполнении минимальных общих требований специализируется в зависимости от особенностей геологического строения района и ожидаемых типов месторождений полезных ископаемых. Специализация выражается в углубленном изучении и возможно более подробном графическом изображении элементов геологического строения, контролирующих образование и локализацию главных для данного района полезных ископаемых.

Важнейшей задачей является определение правильного направления специализации крупномасштабных геологосъемочно-поисковых работ, обеспечивающих комплексную перспективную оценку тех или иных районов Союза по полезным ископаемым. Решение этой задачи возможно на основе глубокого изучения геологических обстановок, в которых формируются месторождения минерального сырья, при рациональном комплексировании геологических, геофизических, геохимических и других методов исследований в процессе съемочных и поисковых работ.

Основным методом изучения ураноносных или перспективных на урановое оруденение районов является крупномасштабное геологическое картирование (геологическая съемка). Комплекс применяемых исследований и методика составления геологических и других специальных карт для таких районов в главных чертах определяются общими требованиями «Основных положений ...» и зависят от особенностей геологического строения районов, ожидаемых типов оруденения и природных условий. Однако геологическое картирование в ураноносных и перспективных на уран районах характеризуется рядом важных специфических особенностей, обусловленных своеобразными условиями формирования и размещения уранового оруденения, физическими и геохимическими свойствами самих руд.

Поэтому в первой части настоящей работы, рассчитанной на широкий круг геологов и геофизиков, ведущих съемочно-поисковые работы, большое внимание уделено вопросам классификации эндогенных и экзогенных урановых месторождений и рассмотрению разнообразных геологических обстановок, в которых возможно проявление урановой минерализации тех или иных генетических типов. Во второй части работы характеризуются промышленно интересные типы урановой минерализации, рассматриваются их поисковые критерии и рациональный комплекс методов, применяемых для поисков урановых руд.

В третьей части, носящей преимущественно методический характер, дается представление о специфике геологического и металлогенического изучения ураноносных и перспективных на уран районов в областях развития позднеорогенных вулканогенно-интрузивных формаций, о методике комплексных геолого-геофизических работ при поисках месторождений урана на закрытых площадях, о применении некоторых геохимических и минералого-геохимических методов при крупномасштабном геологическом картировании.

Многие разделы иллюстрируются, кроме рисунков в тексте, крупномасштабными геологическими, прогнозно-геологическими, геохимическими и геофизическими картами, данными в приложении. Они в большинстве своем не могут рассматриваться как эталонные образцы карт, составляемых при детальном геологическом картировании. Основное назначение этих карт — дать представление о разнообразии и специфике геологических обстановок проявления уранового оруденения различных генетических типов и возраста, а также показать методические приемы графического изображения и использования радиогеохимических и других данных, определяющих специализацию по урану.

По своему характеру работа должна рассматриваться как пособие, существенно дополняющее «Основные положения организации и производства геологосъемочных работ м-ба 1 : 50 000 (1 : 25 000)» (1968), для исследования в определившихся ураноносных или перспективных по урану районах. Она является дальнейшим развитием «Методических указаний к крупномасштабному специализированному геологическому картированию в ураноносных и перспективных по урану районах» (1964), составленных под редакцией лауреата Ленинской премии А. И. Семёнова.

Авторы настоящей монографии выражают искреннюю признательность П. М. Татарининову, Д. Д. Пенинскому, Ю. П. Тафееву, Е. М. Квятковскому за внимательный просмотр работы и ценные замечания.

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ КРУПНОМАСШТАБНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ В УРАНОНОСНЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПО УРАНУ РАЙОНАХ

«Основные положения организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000)» (1968) определяют, что такие работы «... представляют стадию регионального геологического изучения территории СССР, следующую за геологической съемкой масштаба 1 : 200 000 и предшествующую съемочно-поисковым работам масштаба 1 : 10 000 и крупнее».

Главной задачей крупномасштабного геологического картирования является выяснение и наглядное графическое отображение пространственных, временных и генетических связей между различными комплексами геологических образований и оруденением, т. е. создание надежной геологической основы для эффективного прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых в различных условиях геологической и физико-географической обстановок. Геологосъемочные работы масштабов 1 : 50 000—1 : 25 000 приобретают в настоящее время в нашей стране большой размах и планомерный характер. Это вызвано необходимостью расширения перспектив старых экономически освоенных и комплексного освоения минеральных ресурсов новых перспективных горнорудных районов. На первом этапе в этих работах существовали серьезные недостатки, главным образом методологические. Основной из них заключался в том, что соответствующая кондициям детализация наблюдений проводилась по принципу равномерности без учета ее целесообразности. При этом важнейшие рудоконтролирующие факторы не получали необходимой характеристики.

Геологические карты, составленные по указанной методике, не могли являться надежной основой для составления карт прогноза полезных ископаемых. Неизбежно вставал вопрос о том, что крупномасштабные геологические исследования должны быть максимально приближены путем их специализации к решению конкретных практических задач по поискам минерального сырья. Эта специализация диктуется самими особенностями геолого-тектонического и металлогенического развития районов. Е. Т. Шаталов, например, отмечает, что «крупномасштабные съемки проводятся в локальных районах, и даже серии листов, не говоря уже об отдельных планшетах, попадают в районы с наличием определенных видов полезных ископаемых, вследствие чего специализация съемок и поисков на них определяется геологическим строением области, т. е. самой природой» (Шаталов, 1966). Специализация исследований заключается прежде всего во всестороннем учете региональных геологических и других критериев локализации урановых месторождений.

Данные по важнейшим ураноносным провинциям мира свидетельствуют о четко намечающихся закономерностях временного и пространственного развития и размещения уранового оруденения, зависящих в первую очередь от геотектонической позиции региона, определяющей своеобразие и направленность геологических процессов, приводящих к образованию промышленных концентраций урана.

Важнейшими региональными критериями являются положение района в пределах главных структурных элементов\* континентальной части земной коры, формационный тип слагающих район осадочных, магматических и рудных образований, характер и интенсивность проявления процессов регионального метаморфизма и ультраметаморфизма, геохимическая специализация геологических формаций. Анализ региональных критериев проводится уже на стадии выбора районов для крупномасштабного геологического картирования на основе геологических, металлогенических и других специальных карт м-ба 1 : 500 000—1 : 200 000, что позволяет ориентировать крупномасштабные геологосъемочные работы на определенные виды и типы оруденения, которые можно ожидать в данном районе.

Кроме этих критериев, учитываются и многочисленные более локальные факторы, либо определяющие возможность образования промышленных концентраций урана, либо свидетельствующие о вероятном наличии таких концентраций в локальных структурах изучаемого района. К числу их, например, относятся характер и интенсивность дорудных и интратрудных тектонических нарушений и их роль в размещении магматических и постмагматических образований, петро- и геохимические особенности магматических пород, фациальная принадлежность осадочных толщ, гранулометрические, механические, литохимические свойства слагающих их пород, окологорудные изменения, процессы эпигенетического перераспределения урана и сопутствующих ему элементов, характер и интенсивность развития кор выветривания и др.

Изучение локальных факторов рудообразования и размещения руд в ураноносных районах имеет исключительно важное значение и носит комплексный характер. В районах сложного строения урановое оруденение нередко локализуется в геологических образованиях нескольких структурных ярусов, представлено различными типами месторождений, сформированных в разные стадии развития региона. Необходимо также отметить, что первичноосадочный и другие типы концентраций урана в каждую последующую стадию структурной перестройки региона, проявления магматизма, изменения климатической обстановки и т. п. вовлекаются в новые геологические процессы. Последние в одних случаях могут определять рассеяние исходных концентраций урана, в других же, наоборот, приводить к образованию новых его концентраций в иной обстановке. Так, например, высокая подвижность урана в зоне гипергенеза обуславливает возможность образования сорбционно-диагенетических и экзогенных эпигенетических его концентраций за счет химического выветривания урансодержащих пород и урановых руд различного происхождения.

Специализация работ при крупномасштабном геологическом картировании ураноносных районов обусловлена также, как указывалось выше, физическими и геохимическими свойствами урановых руд. В связи с главной особенностью урановых руд — их радиоактивностью — широко используются аэро и наземные радиометрические исследования, как прямые методы обнаружения этих руд. «Основные положе-

\* Под главными структурными элементами континентальной части земной коры здесь и далее понимаются древние платформы и их щиты, складчатые области, молодые платформы (Богданов и др., 1963; др.) и области активизации (Щеглов, 1968; др.).

ния ...» (1968) в качестве необходимого условия проведения крупномасштабных геологосъемочных работ предусматривают обязательное предшествующее им изучение территории аэрогеофизическими методами, в том числе аэрорадиометрическими.

В настоящее время основной задачей крупномасштабного картирования и прогнозирования в перспективных по урану районах становится выявление локальных геологических структур и геохимических обстановок, благоприятных для глубинных поисков не выходящих на поверхность или слабо проявленных на поверхности урановых месторождений. Это вызывает необходимость составления карт, отражающих не только геологическое строение поверхности, но и дающих представление об особенностях геологического строения района на глубинных горизонтах, доступных для поисков и эксплуатации месторождений. С этой целью все более широко применяется комплекс общих геофизических методов (сейсмо-, грави-, магнито- и электроразведка) в увязке с геологическими и геохимическими методами. Из геохимических методов широко применяются радиогеохимические и радиогидрогеологические, на основании которых составляются специальные карты. Важной составной частью комплекса методов, применяемых при крупномасштабном картировании ураноносных районов, являются горные и буровые работы, представляющие собой прямые глубинные методы поисков и играющие большую роль при составлении «объемных» по горизонтальным карт и оценке выявленных в процессе съемки радиометрических, магнитных и других аномалий. Расположение (сеть), глубины буровых скважин и необходимые объемы работ определяются, с одной стороны, требованиями существующих инструкций по государственной крупномасштабной съемке, с другой — необходимостью проверки бурением выявленных аномалий, зон нарушений, прямых проявлений урановой минерализации, благоприятных горизонтов пород, т. е. требованиями, вытекающими из специализации работ по урану.

Опыт показывает, что крупномасштабные геологические карты, отвечающие в основном требованиям инструкции, но составленные без достаточно углубленного изучения сложных и специфических особенностей геологических и геохимических условий формирования и размещения уранового оруденения, не могут служить надежной основой для прогнозирования и поисков урановых месторождений. В таких случаях всегда необходимо проведение дополнительных тщательных исследований отдельных элементов геологического строения, имеющих решающее значение для выявления или ожидаемых типов уранового оруденения (Методические указания ..., 1964).

В районах, претерпевших интенсивные складчатые дислокации и дифференцированные блоковые перемещения, на различных уровнях эрозийного среза выведены на поверхность практически все комплексы геологических образований, представляющих интерес в отношении различных типов уранового оруденения. Специализация исследований ураноносности таких площадей заключается в более углубленном изучении региональных геологических критериев и локальных факторов рудообразования и размещения уранового оруденения путем детализации некоторых видов геологических, геофизических, геохимических и других специальных исследований. Естественно, что геологическая карта не в состоянии вместить весь объем получаемой дополнительной информации, в связи с чем последняя фиксируется на специальных картах и схемах (радиометрических, геохимических, радиогидрогеологических, состава и мощностей рыхлых отложений и кор выветривания, литолого-фациальных, палеогеографических и др.).

В районах молодых платформ экзогенное эпигенетическое оруденение формируется на различной, часто значительной глубине от поверхности, перекрыто пологозалегающими толщами осадочных пород.

и практически не проявляется на поверхности. Геологическое картирование поверхности для выяснения ураноносности района в таких случаях бесполезно без изучения возможности проявления ее на глубине. В этих условиях для прогнозирования и поисков месторождений необходимо составление серии специализированных карт — формационных, литолого-фациальных, радиогидрогеологических, эпигенетических изменений. Составляются такие карты главным образом по материалам, получаемым при бурении, с учетом данных по поверхности.

Геологическое прогнозирование на стадии крупномасштабного геологического картирования исходит из эмпирически и научно установленных закономерностей поведения урана в магматических и постмагматических, метаморфических и экзогенных процессах в различных геолого-тектонических условиях той или иной стадии развития главных структурных элементов земной коры, и, следовательно, основой геологического прогнозирования на базе крупномасштабных геологических карт и специальных накладок к ним является выделение геологических обстановок, которые могли быть благоприятными для локализации промышленного уранового оруденения.

Важным на стадии крупномасштабного картирования является учет природных факторов, характерных для выделяемых перспективно ураноносных участков (районов). К числу их относятся данные о мощностях и характере покрова рыхлых отложений, кор выветривания, гидрогеологическом режиме, об особенностях рельефа и т. д.

На основании полученных данных составляется карта природных условий, которая дает возможность дифференцировать выделяемые перспективные участки по сложности проведения поисковых работ и их очередности и, что особенно важно, обоснованно наметить и рекомендовать наиболее рациональный комплекс поисковых методов, обеспечивающий высокую эффективность поисков в конкретных ландшафтных и физико-географических условиях.

Итогом обширного и трудоемкого комплекса работ по крупномасштабному геологическому картированию является составление прогнозной карты — основного документа для определения направления детальных геологосъемочных, поисковых или разведочных работ.

Прогнозная карта составляется на завершающем этапе работ. Она должна дать ответ на следующие вопросы:

1. Каковы условия, закономерности образования и размещения месторождений урана в локальных структурах?

2. Каковы генетические типы отдельных месторождений и их формационные особенности?

3. Каковы перспективы обнаружения новых месторождений урана на изучаемой площади, где они могут размещаться, выходят ли на поверхность, и какими признаками (в этом случае) они выражены, каковы ожидаемые масштабы оруденения?

4. Какой комплекс геологических и геофизических методов исследования будет наиболее эффективным при постановке поисковых работ на уран в данной геологической и природной обстановке?

Из вышеизложенного видно, что крупномасштабное геологическое картирование является методом комплексного изучения ураноносных и перспективных по урану районов, включающим разносторонние геологические, специальные и общие геофизические и геохимические исследования, целью которых является выделение геологических обстановок, которые могли быть благоприятными для локализации промышленного уранового оруденения. «Основные положения...» подчеркивают научно-исследовательский характер этих работ. Там же определяется и обязательный комплект карт, составляемых при крупномасштабных геологосъемочных работах в рудных или перспективно рудоносных

районах. В него входят геологическая карта со стратиграфической колонкой и геологическими разрезами к ней, карта полезных ископаемых, карта закономерностей размещения полезных ископаемых и прогноза и карта фактического материала. Составление указанного комплекта карт является обязательным и при проведении крупномасштабных специализированных на уран геологосъемочных работ, но как было показано выше, в этих случаях возникает необходимость составления ряда других специальных карт.

В основе своей крупномасштабное геологическое картирование в ураноносных районах не представляет какого-то особого вида работ; оно базируется на принципах, общих для любых рудных районов, но осуществляется при максимальной специализации направлений и методов исследований, что обусловлено исключительно сложными, разнообразными и специфичными условиями проявления промышленного уранового оруденения. Правильный выбор основных направлений специализации обеспечивается прежде всего знанием этих условий.

---

*Часть I*

Геологические условия проявления  
уранового оруденения

## ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Уран обладает рядом свойств (большой атомный радиус, переменная валентность, высокая химическая активность и т. д.), которые обуславливают широкое его участие как в эндогенных и метаморфических процессах различных термодинамических режимов, так и во всех многообразных экзогенных процессах. Эти свойства определяют преимущественно рассеянное нахождение урана в породах и часто ограничивают возможность образования или длительного существования уже возникших высоких концентраций элемента. Тем не менее, количество генетических типов урановой минерализации, проявляющихся в разнообразных геологических обстановках и образующих промышленные месторождения, весьма значительно. Высокая химическая активность элемента определяет наличие более 150 собственно урановых и большого количества урансодержащих минералов. Наряду с этим уран образует концентрации без возникновения минеральных форм элемента (сорбция урана глинистыми осадками, фосфорными, углеродистыми и другими соединениями).

В процессе поисков урановых руд во многих районах выявляются многочисленные радиометрические, эманационные, радиогидрохимические аномалии, требующие оперативной и квалифицированной оценки. Последняя нередко усложняется тем, что высокой радиоактивностью характеризуются также минералы тория и многие другие минералы, содержащие уран и торий лишь в качестве изоморфных примесей. Поэтому при оценке аномалий и выяснении перспектив урановой минерализации большое значение имеет выяснение геологической позиции руденения и его генетического типа. В связи с этим разработка классификации урановых месторождений, которая облегчала бы геологам выбор методологически обоснованного направления поисковых работ на уран и оценку выявленных аномалий и месторождений, является одной из важных задач.

Одни из первых классификаций урановых месторождений, основанные на ограниченных данных по отдельным регионам, были предложены Д. Бейном (Bain, 1950), Д. Эверхартом (Everhart, 1954). В это же время ряд схем генетической классификации урановых месторождений, в основном на примере зарубежных стран, был разработан М. М. Константиновым (1955), И. Г. Магакьяном (1955), В. С. Домаревым (1956), Д. Я. Суражским (1956). В дальнейшем, по мере получения новых данных, появляются классификации, предложенные В. Г. Мелковым и Л. Ч. Пухальским (1957), Д. Я. Суражским (1960), В. Н. Котляром (1961), А. А. Якжиным (1961), Я. Д. Готманом и И. Н. Зубревым (1963), В. И. Данчевым и Т. А. Лапинской (1965) и др. Все приведенные схемы отражают большой поиск наиболее объективных крите-

риев, которые могли бы составить принципиальную основу научной классификации месторождений урана.

В качестве определяющих классификационных признаков для эндогенных месторождений в указанных схемах принимались либо состав вмещающих пород, либо способ отложения руд, обуславливающий морфологию рудных тел, с учетом минеральных ассоциаций, либо температура образования и состав руд и др. Во многих схемах основной структурной ячейкой классификации эндогенных месторождений считается рудная формация, понимаемая как определенная парагенетическая минеральная ассоциация (молибденито-уранинитовая, смолково-карбонатная и т. п.). Однако еще Д. Эверхарт (1956) обращал внимание на то, что «всякая попытка классифицировать рудные месторождения по минералогическим ассоциациям осложняется наличием местных уникальных особенностей с различными отклонениями от типичных ассоциаций».

Действительно, исключительная сложность процессов эндогенного рудообразования вообще и гидротермального в особенности обуславливает значительные колебания в содержаниях минеральных компонентов в рудах месторождений, относящихся, казалось бы, к одному генетическому типу и единой урановорудной формации. Значительная субъективность в оценке минерального состава той или иной рудной формации приводит в конечном итоге к очень разнообразным формулировкам названий одних и тех же урановорудных формаций, что значительно затрудняет и их сравнительную характеристику.

Так, в классификациях А. А. Якжина, Я. Д. Готмана и И. Н. Зубрева, В. И. Данчева и Т. А. Лапинской одни формации называются по главным элементам (медно-урановая, урано-молибденовая и др.), названия других включают наименования и элементов и минералов (или классов минералов), как например урано-флюоритовая, ураносульфидная и т. п., и, наконец, ряд формаций выделяется по ведущим минеральным ассоциациям (смолково-карбонатная, молибденито-уранинитовая и т. п.).

В классификациях экзогенных урановых месторождений до последнего времени также отмечалось различие критериев, лежащих в основе подразделения месторождений по генетическим типам. Многочисленные схемы генетической классификации экзогенных месторождений урана, предложенные различными исследователями, обстоятельно рассмотрены в работе В. И. Данчева и Т. А. Лапинской (1965), поэтому мы ограничимся лишь несколькими примерами.

Так, В. Г. Мелков и Л. Ч. Пухальский (1957) подразделяют экзогенные месторождения урана на осадочные месторождения морского, озерного, речного и болотного происхождения и месторождения выветривания (инсоляционные, карстовые и др.). Месторождения первых двух собственно осадочных типов подразделяются по литологическому составу рудовмещающих пород (ураноносные песчаники, ураноносные глины, ураноносные конгломераты и т. п.). Принципиально аналогичная, но несколько более детальная схема классификации экзогенных месторождений урана предложена также В. Н. Котляром (1961). Д. Я. Суражский (1960) к собственно сингенетическим относит лишь концентрации урана в типично морских отложениях (урансодержащие черные сланцы, урансодержащие глины с костными осадками ископаемых рыб и т. д.), а урановое оруденение в грубозернистых песчаниках, конгломератах и других породах преимущественно флювиального происхождения считает эпигенетическим (инфильтрационным). Я. Д. Готман и др. (1963, 1964) принимают в качестве основы схему классификации Д. Я. Суражского. Главным отличием является выделение ими озерно-болотного подтипа (кроме морского) сингенетических месторож-

дений урана (формация ураносодержащих бурых углей, песчаников и глин).

В указанных и других подобных им классификациях геотектонический режим периода образования ураноносных толщ не находил отражения и лишь при описании конкретных месторождений того или иного типа этот очень важный критерий получал некоторое освещение.

Нерешенность многих вопросов о первичных источниках урана при образовании осадочных месторождений, о способах и условиях осаждения урана из растворов, о сочетании в пределах единых рудных полей признаков как типично сингенетического, так и эпигенетического по отношению к рудовмещающим толщам происхождения руд определяют различный подход к отнесению конкретных урановых месторождений к тому или иному генетическому типу. С накоплением фактических данных, свидетельствовавших об исключительном многообразии генетических типов урановой минерализации, выявлялись некоторые закономерности в размещении главных урановорудных районов в пределах крупных региональных структур (Константинов, Куликова, 1960). Однако геологическая практика требовала конкретизации критериев пространственного размещения урановых месторождений различных типов и, следовательно, локализации районов, рекомендуемых под поиски промышленных месторождений. В этом направлении важнейшее значение должны были приобрести анализ данных о закономерностях проявления урановой минерализации в зависимости от хода геологического развития и строения важнейших структурных элементов земной коры (подвижных зон и платформ) и разработка на этой основе классификации урановых месторождений.

Первый опыт установления места эндогенной урановой минерализации в ходе направленного геологического развития подвижных поясов был сделан Ю. А. Билибиным, который подчеркивал приуроченность практически важной гидротермальной урановой минерализации к поздним и конечным этапам развития подвижных поясов. Дальнейшее развитие представлений Ю. А. Билибина было дано А. И. Семеновым (1959), предложившим схему классификации урановых месторождений на основе общих принципов регионального металлогенетического анализа. В предложенной им группировке урановых месторождений, включающей три главных генетических класса — эндогенные, экзогенные и метаморфогенные — выделяются месторождения, образовавшиеся на различных стадиях развития подвижных поясов земной коры, древних платформ и их щитов и молодых платформ. Проведенный анализ позволил А. И. Семенову наглядно показать, что соответствующие геотектонические условия в значительной степени определяют формирование уранового оруденения различных генетических типов. Имевшиеся к тому времени данные позволили считать, что «при достаточно обоснованном тектоническом районировании территории геотектонический фактор может быть положен в основу общей оценки перспектив и направления изучения районов и тем самым способствовать выявлению урановых месторождений» (Семенов, 1959). Вскоре была опубликована работа М. М. Константинова (1960), в которой рассматриваются основные категории поисковых критериев применительно к урановым месторождениям — регионально-оценочные, регионально-поисковые, локально-поисковые, поисково-разведочные. При выделении и характеристике регионально-оценочных и регионально-поисковых критериев М. М. Константиновым в ряде случаев геотектоническим факторам уделено уже заметное внимание. В последующие годы исследования в этом направлении проводились научно-исследовательскими и производственными организациями.

Анализ особенностей формирования уранового оруденения в зависимости от его геотектонической позиции применяется и в настоящей

работе. Генетические типы эндогенных и экзогенных урановых месторождений рассматриваются в зависимости от их положения в региональных структурах земной коры и на основе тектонических, магматических, формационных и других региональных критериев выделения ураноносных районов. Наряду с этим для каждого генетического типа по возможности определяются свойственные ему урановорудные формации, показываются особенности их состава и локальные факторы, управляющие размещением месторождений в конкретных геологических структурах и комплексах района.

Установление региональных критериев выделения ураноносных районов в предлагаемых схемах классификации эндогенных и экзогенных месторождений основано на данных анализа мелко- и среднemasштабных геологических, металлогенических, прогнозных и других специальных карт (палеотектонических, палеогеографических и т. п.). Характеристика же локальных (районных) особенностей распределения практически ценных концентраций урана основывается на признаках, типичных для самих руд и рудных полей. К сожалению, количество таких признаков, которые могут использоваться непосредственно в процессе картирования и обычного комплекса камеральных работ, невелико.

Такие, например, критерии, как температура и глубина проявления главной стадии эндогенного рудообразования, которым С. С. Смирнов (1955) придавал большое значение при создании научной классификации рудных месторождений, до сих пор не заняли места надежных классификационных признаков как из-за трудностей объективного определения их, так и из-за сложности и многостадийности самого процесса минералообразования. И хотя для конкретных месторождений имеются довольно объективные данные о глубине образования руд и температурном режиме главной стадии рудного процесса, использование их в практике пока ограничено. Поэтому и в данной работе при рассмотрении различных типов уранового оруденения приходится использовать лишь относительную оценку двух указанных критериев (средне-низкотемпературные близповерхностные и т. п.).

Период, прошедший с момента опубликования работ Ю. А. Библина по регионально-металлогеническому анализу и первой схеме классификации урановых месторождений, построенной на геотектонической основе (Семенов, 1959), отмечен важными достижениями в развитии многих направлений геологической науки, в разработке ряда принципиальных проблем, имеющих большое теоретическое и практическое значение. Некоторые из этих достижений оказали серьезное влияние на наши представления об особенностях металлогении урана и на совершенствование схем классификации его месторождений. Так, для районов щитов были получены новые важные данные, свидетельствующие о широком проявлении процессов гидротермально-метасоматического рудообразования в зонах регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. Это привело к более обоснованному определению генетического типа многих урановых месторождений, относившихся ранее к метаморфогенным, неясного типа, метасоматическим, и установлению для них магматических и структурных критериев локализации оруденения и пересмотру перспектив на уран ряда районов развития докембрия.

Важнейшим итогом изучения строения главных структурных элементов земной коры на материках явилось выделение зон активизации, рассматриваемых в качестве особой третьей формы развития земной коры, сопоставимой по масштабности геологических процессов в пространстве и времени со складчатыми областями и платформами. Зонам тектоно-магматической активизации в ряде случаев свойственна металлогеническая специализация, выраженная в формировании преимуще-

ственно месторождений редких и цветных металлов, золота, флюорита и др. Продуктивными оказались зоны активизации и в отношении ряда типов эндогенных и экзогенных урановых месторождений. Поэтому в приводимых ниже схемах классификации урановых месторождений особое внимание уделено генетическим типам уранового оруденения зон активизации.

Огромная работа проделана за последние годы по систематике и широкому обобщению материалов по эндогенной геологии, минералогии и геохимии урана. В этом отношении большой интерес представляют монографии «Геология гидротермальных урановых месторождений» (1966) и «Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений» (1968) под редакцией Ф. И. Вольфсона.

Значительные успехи достигнуты также в изучении закономерностей образования экзогенных месторождений урана. Исследования последних лет позволили выделить новый класс экзогенных эпигенетических урановых месторождений, отдельные типы которого имеют большое промышленное значение (Батулин и др., 1965). В отличие от сингенетических месторождений экзогенные эпигенетические месторождения урана афациальны по отношению к вмещающим их породам, рудные тела нередко пересекают границы фациальных зон и локализация их контролируется эпигенетической зональностью. Последняя возникает в результате взаимодействия кислородных урансодержащих вод, движущихся по проницаемым горизонтам литифицированных пород, обогащенным различными восстановителями (сероводород, битумы, угли, сульфиды железа и др.), и выражается в закономерной смене минерально-парагенетических ассоциаций. Формирование промышленных концентратов урана и других металлов (Se, Mo и др.) происходит на восстановительном геохимическом барьере.

В разработанной Е. А. Головиным (Батулин и др., 1965) классификации экзогенных урановых месторождений впервые дано подразделение эпигенетических месторождений на основе различных минерало-геохимических зональностей в рудовмещающих породах. Им предложено, в частности, выделять две группы эпигенетических месторождений — сформированные грунтовыми водами и глубинные — обусловленные напорными подземными водами.

Изучение специфической группы урановых месторождений открывает новую главу в учении о полезных ископаемых, посвященную экзогенному эпигенетическому рудообразованию в осадочных породах.

При составлении приводимых в работе схем классификации оказалось невозможным на данной стадии изученности различных типов урановых месторождений избежать ряда дискуссионных положений, часть из которых освещается ниже.

Основная цель приводимых таблиц — показать исключительно большое разнообразие конкретных геологических обстановок, в которых возникают генетически различные типы урановой минерализации. Целесообразность такой расширенной схемы классификации урановых месторождений определяется прежде всего практическими потребностями крупномасштабного специализированного геологического картирования и поисков в ураноносных и перспективных по урану районах, задачи которых могут быть решены лишь на основе тщательного изучения генетических типов урановой минерализации, проявленной в районе, и сравнения ее с урановорудными формациями известных промышленно ураноносных регионов.

При составлении таблиц использованы данные авторов отдельных разделов настоящей работы; характеристика некоторых типов месторождений и отвечающих им урановорудных формаций приведена на основе опубликованных материалов по геологии урановых месторождений зарубежных стран.

Геологические условия проявления

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождения	Состав	
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Характерные особенности проявления магматизма		Урановорудные формации	
<p><b>I. Щиты древних платформ</b></p> <p>Области интенсивного проявления регионально-го метаморфизма, ультраметаморфизма и долгоживущих глубинных разломов</p>	<p>Широкое развитие гранитов и сиенитовых интрузий, сопровождаемых пегматитами граносиенит-сиенитового состава</p>	<p>1. Пегматитовые</p> <p>а. В пегматитах скрепления</p>	<p>Кальцито-флюорито-апатито-уранинитовая</p>	
	<p>Массивы гранитов и связанных с ними кварц-полевошпатовых мелкозернистых пегматитов</p>	<p>б. В пегматитизированных мигматитах</p>	<p>Уранинитовая</p>	
	<p>Широкое развитие существенно калиевых (микроклиновых) гранитов</p>	<p>в. В пегматоидных образованиях, переходных от пегматитовых к высокотемпературным гидротермальным</p>	<p>Молибденито-уранинитовая</p>	
		<p>2. Скарновые (скарноидные) высокотемпературные</p>	<p>Алланито-уранинитовая (настурановая)</p>	
	<p>Формация существенно калиевых гранитов с обильной жильной фацией аплитов, пегматитов</p>	<p>3. Гидротермально-метасоматические:</p> <p>а. Связанные с процессами метасоматической альбитизации среди гнейсов и гранито-гнейсов</p>	<p>Настурано-неадекватитовая</p>	
		<p>б. Связанные с многостадийными процессами щелочного и карбонатного метасоматоза в породах формаций железистых кварцитов</p>	<p>Настурано-неадекватитовая и уранинитовая (железо-урановая)</p>	

и условия локализации оруденения

Минеральные ассоциации	Главные рудоконтролирующие факторы	Морфология рудных тел
<p>Уранинит, пирохлор, ортит, циркон, флюорит, кальцит, апатит, халькопирит, пирротин, часто магнетит, гематит, молибденит и др.</p>	<p>Урановая минерализация тяготеет к кальцито-флюорито-апатитовым ядрам зональных тел пегматитов, нередко проявлена в их краевых частях</p>	<p>Серии рудных тел неправильной жиллообразной формы. Непостоянная, часто значительная протяженность жил при небольшой мощности</p>
<p>Уранинит, ураноторит, реже торит, циртолит, тухолит, монацит, пирит, пирротин, молибденит</p>	<p>Урановая минерализация характерна для мелкозернистых пегматитов и связанных с ними мигматитов, образующих мощные зоны в экзоконтактах массивов метасоматических гранитов</p>	
<p>Уранинит, молибденит, пирротин, арсенопирит, пирит, меллингит</p>	<p>Оруденение проявляется в тектонических ослабленных зонах в аплитовидных гранитах, парагнейсах, амфиболитах, наиболее интенсивно в зонах дробления в гиперстеновых и графитовых гнейсах</p>	<p>Зоны протяженностью в сотни метров и километров, включающие прерывистые, часто кулисообразно расположенные рудные тела линзовидной и жиллообразной формы</p>
<p>Уранинит (настуран), алланит, ураноносный апатит, иногда давидит, сульфиды, минералы редких земель. Алмандин, андрадит, диопсид, тремолит, альбит, скаполит</p>	<p>Структурный контроль оруденения. Выполнение тектонических трещин в диопсидовых гранулитах и в брекчированных конгломератах в толще скарнированных известково-силикатных пород</p>	<p>Неправильной формы рудные тела различных, иногда значительных, размеров</p>
<p>Ненадкевит, настуран, уранинит, коффинит, браунерит, часто ураносодержащий апатит, реже малакон, титанаты урана, монацит. В незначительном количестве иногда присутствуют сульфиды, магнетит, рутил</p>	<p>Мощные зоны милонитов и катаклазитов в приконтактных и прикупольных частях слабо эродированных массивов существенно калиевых гранитов, особенно в случаях размещения их среди пород повышенной основности (пироксеновые гнейсы, амфиболиты, гранодиорито-гнейсы и др.), хрупкие деформации</p>	<p>Прерывистые цепочки тел метасоматических сиенитов и альбититов, морфологически сложные, быстро выклинивающиеся</p>
<p>Настуран, ненадкевит, уранинит, ураносодержащие апатит, малакон</p>	<p>Проявление урановой минерализации обычно связано с процессами альбитизации, карбонатизации в тектонически ослабленных зонах в толще железистых кварцитов вблизи интрузий гранитов, наиболее часто в сланцевых пачках пород, богатых глиноземом, нередко непосредственно в железистых кварцитах и эгиринорибекитовых метасоматических породах</p>	<p>Линзообразные тела различных размеров с прожилково-вкрапленным, реже прожилковым оруденением</p>

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождения	Состав	
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Характерные особенности проявления магматизма		Урановородные формации	
<p><b>II. Складчатые области</b></p> <p>Позднеорогенная стадия развития (консолидация мобильного складчатого пояса до перехода в платформу)</p> <p>Гетерогенные складчато-блоковые области с интенсивно проявленным эффузивно-интрузивным магматизмом начала позднеорогенной стадии развития. Проявления позднеорогенного магматизма и урановые месторождения контролируются системами глубинных разломов преимущественно по периферии срединных массивов, приподнятых тектонических блоков</p>	<p>Формация пегматоидных гранитов и пегматитов существенно ториеносных (монацит, ортит, циркон)</p>	<p>в. Связанные с процессами щелочного метасоматоза в тектонических зонах среди гранато-биотитовых и пироксено-гранато-биотитовых гнейсов</p>	Апатитоурановая	
	<p>Натриевые микрограниты, пегматиты, дайки долеритов и порфиров, развитие метасоматических альбититов</p>	<p>г. Связанные с процессами щелочного метасоматоза в условиях толщ с широким развитием пород основного состава</p>	Магнетитильменитодавидитовая и кальцитоскаполитодавидитовая	
	<p>Пространственно тесно сопряженные вулканогенные и интрузивные близповерхностные образования трахиандезито-диоритовой и андезито-диоритовой формации с несколько повышенной щелочностью. Вулканические аппараты, близповерхностные интрузии диоритового и монцититового состава, пояса даек габбро-диабазов, диоритовых порфиров, плагиопорфиров</p>	<p>Гидротермальные средние- и низкотемпературные близповерхностные в районах интенсивного проявления позднеорогенного магматизма:</p>	<p>а. В районах проявления трахиандезито- и андезито-диоритовой вулканогенно-интрузивной формации</p>	Настурановая
			Апатитоурановая	
			Молибденитонастурановая	

и условия локализации оруденения

Минеральные ассоциации	Главные рудоконтролирующие факторы	Морфология рудных тел
<p>Урансодержащий апатит (фторapatит), подчиненно—урановая смолка, аршиновит. Присутствуют пирит, пирротин, халькопирит, редко молибденит, галенит. Жильные — альбит, хлориты (железистые и магнезиальные), щелочные амфиболы</p> <p>1. Давидит, ильменит, магнетит, гематит, рутил, корунд, пирит, халькопирит и др.</p> <p>2. Давидит, скаполит, кальцит, ильменит, магнетит и др.</p> <p>Настуран, в небольшом количестве галенит, пирит, реже халькопирит, марказит, редко молибденит. Анкерит, кальцит, опаловидный кварц, хлорит, серицит, гидрослюда</p> <p>Фторapatит урансодержащий, аршиновит, немного сульфидов</p> <p>Настуран, молибденит, аршиновит, немного сульфидов. Альбит, анкерит, доломит, кальцит, хлорит, опал, халцедон, гидрослюда, апатит, редко кварц, флюорит</p>	<p>Локализация оруденения в гранато-биотитовых и пироксено-гранато-биотитовых гнейсах в пределах круто- и пологопадающих зон дробления, иногда вдоль контактов даек</p> <p>Оруденение локализуется в гнейсах, кристаллических сланцах, амфиболитах, габброидах. Интенсивность оруденения часто возрастает в зонах дробления основных пород. Благоприятными для локализации оруденения являются зоны интенсивной скаполитизации</p> <p>Дайковые пояса диоритового состава по периферии крупных вулканических аппаратов. Полого- и крутопадающие последайковые разломы, особенно на участках пересечения дайками переслаивающихся пород различного гранулометрического состава</p> <p>Оруденение контролируется системами глубинных разломов. Ярко выражен литологический контроль. Урановая минерализация отмечается в породах разного состава, но наиболее концентрированно проявлена в существенно карбонатных породах</p> <p>Локализация наиболее значительных концентраций урана контролируется зонами дробления, брекчирования, повышенной трещиноватости, в толщах тонкого переслаивания туфов, алевролитов, песчаников</p>	<p>Гнезда, пласто- и линзообразные тела с вкрапленным и прожилково-вкрапленным оруденением</p> <p>Невыдержанные по простиранию и быстро выклинивающиеся на глубину зоны с вкрапленным и прожилково-вкрапленным оруденением</p> <p>Линзо-, четко- и жилкообразные и неправильной формы тела с прожилково-вкрапленным и прожилковым оруденением</p> <p>Жилообразные, линзообразные (согласные и секущие) тела, пластообразные метасоматические залежи с прожилково-вкрапленным оруденением</p> <p>Столбообразные и линзообразные тела с нечеткими границами. Оруденение прожилково-вкрапленное и прожилковое</p>

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождения	Состав	
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Характерные особенности проявления магматизма		Урановородные формации	
<p>Позднеорогенные, пограничные между складчатými областями различного возраста палеовулканические пояса, внутренние и периферические прогибы в складчатых областях с широким развитием субаэральных вулканогенных образований среднего и преимущественно кислого состава на интенсивно складчатом гетерогенном основании</p>	<p>Относительно длительное многофазное проявление позднеорогенного магматизма с отчетливо выраженной дифференциацией (по составу) последовательно возникавших продуктов магматизма в различных фациальных условиях (вулканические аппараты центрального типа с кальдерной стадией развития, сопровождаемые кольцевыми и линейными поясами даек и субвулканических интрузий, жерловые фации вулканов линейного типа и т. п.). По составу — преимущественно кислые с повышенной щелочностью образования липарито-гранитовой формации</p>	<p>б. В районах проявления липарито-гранитовой вулканогенно-интрузивной формации</p>	Иордизитонастурановая	
			Карбонатнастурановая	
			Сульфиднастурановая	
			Настурановая (ураноталлиевая)	
<p><b>III. Области тектономагматической активизации</b></p>				
<p><b>1. Древние платформы и их щиты</b></p>				
<p>Районы сочленения антиклинорных и глыбовых поднятий архейского кристаллического фундамента с платформенными синеклизами и грабен-синклиналями. Зоны длительно развивавшихся глубинных разломов в породах фундамента, участки пересечения таких разломов, контролирующе проявление магматизма стадии активизации</p>	<p>Проявление сложного комплекса вулканогенно-интрузивных образований субщелочной и щелочной (преимущественно калиевого ряда) формаций (кератофиры, лампрофиры, нефелиновые и щелочные сиениты, щелочные эффузивы и их пирокластиты, тингуаиты, щелочноземельные сиениты, сельвсбергиты, эгиритовые граниты и др.)</p>	<p>Гидротермальные среднетемпературные</p>	Браннеритовая и уранинитонастурановая	

и условия локализации оруденения

Минеральные ассоциации	Главные рудоконтролирующие факторы	Морфология рудных тел
<p>Настуран, иордизит, пирит, в незначительном количестве другие сульфиды. Гидрослюды, кварц, халцедон, кальцит, сидерит, анкерит и др.</p> <p>Настуран. В рудах присутствуют пирит, халькопирит, галенит, блеклая руда; в ряде случаев настуран в тесной ассоциации с кальцитом</p> <p>Настуран (реже уранинит) в тесной ассоциации с пиритом и подчиненными галенитом, сфалеритом, халькопиритом, молибденитом, арсенипиритом, иордизитом. Хлорит, серицит, халцедоновидный кварц, в меньшем количестве анкерит, доломит, кальцит, барит, флюорит</p> <p>Настуран, коффинит, пирит, марказит, флюорит, минералы таллия, карбонаты</p>	<p>1. Урановая минерализация контролируется кольцевыми и линейными разломами и приуроченными к ним поясами даек, некков и т. п. по периферии крупных палеовулканов с кальдерной стадией развития;</p> <p>2. Зоны повышенной проницаемости (трещиноватость, дробление) в породах жерловой фации линейных вулканов</p> <p>Дугообразные и линейные разломы по периферии вулcano-купольных структур. Зоны интенсивной трещиноватости на участках развития экстрозивных куполов и субвулканических интрузий</p> <p>Разрывные нарушения в нижнем структурном ярусе, преимущественно на участках с корневой системой палеовулканов</p> <p>Мощные трещинные зоны в пределах размытых экстрозивных куполов субвулканических интрузий</p>	<p>Линзовидные и столбовидные залежи и гнездовидные тела с нечеткими контурами. Вкрапленное и прожилково-вкрапленное оруденение</p> <p>Минерализованные зоны дробления с прожилками, линзами, гнездами настурана</p> <p>Гнездо-и линзообразные рудные тела с вкрапленным и прожилково-вкрапленным оруденением</p> <p>Разобщенные группы тел (серия линз) в пределах мощных штокверковых зон</p>
<p>1. Браннерит, коффинит, кварц, карбонат, сульфиды, адуляр, рутил, анатаз, золото</p> <p>2. Настуран, уранинит, кварц, флюорит, сульфиды, карбонат, барит, рутил, апатит</p>	<p>Четкий структурный контроль оруденения. Рудные тела локализуются:</p> <p>а) в протяженных омоложенных разломах и приподнятых блоках кристаллического фундамента, широко проявлены хрупкие деформации и многостадийная гидротермальная минерализация</p> <p>б) в сложных системах оперяющих трещин непосредственно в магматических телах субщелочной и щелочной формации, приуроченных к узлам пересечения долгоживущих разломов</p>	<p>Линзообразные и сложной формы тела с вкрапленным и прожилково-вкрапленным оруденением. Признаки вертикальной зональности с наличием верхней существенно кварцевой зоны, на глубине переходящей в карбонатную</p>

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождения	Состав	
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Характерные особенности проявления магматизма		Урановородные формации	
<p>Краевые части платформ</p> <p>Зоны длительно развивавшихся протяженных разломов глубокого заложения</p>	<p>Проявление интрузий сложных щелочных — ультраосновных комплексов. Концентрически-зональные массивы центрального типа (некки) и дайки, сложенные нефелиновыми сиенитами и другими щелочными и тесно ассоциирующими с ними ультраосновными породами. Наряду с интрузивной фацией часто широко развиты туфы и агломераты</p>	<p>Пневматолито-гидротермальные высокотемпературные месторождения радиоактивных металлов в карбонатах</p>	<p>Торий-редкоземельно-ниобиевая и ураноториевая редкоземельно-ниобиевая</p>	
<p>2. Молодые платформы</p> <p>Урановородные районы контролируются узкой и протяженной зоной тектоно-магматической активизации, рассекающей краевую часть эпигерцинской платформы</p>	<p>Пространственно-ассоциирующие в пределах зоны активизации и последовательно проявленные во времени трахиандезитовая (андезитовая) вулканогенная формация и цепочки дискордантных многофазных интрузий монзонитов и гранодиоритов</p>	<p>Гидротермальные средне- и низкотемпературные близповерхностные</p>	<p>Настурановая</p>	<p>Карбонатно-настурановая</p> <p>Настурано-антраксолитовая</p> <p>Сульфидно-настурановая</p>
<p>3. Консолидированные складчатые области</p> <p>Область завершённой ниже-среднепалеозойской складчатости. Сложные системы тектонических нарушений в крыльях антиклинорных структур с крупными массивами нижнепалеозойских гранитоидов в их центральных частях. Позднеорогенные прогибы локально осложнены наложенными впадинами стадии активизации, выполненными терригенной угленосной формацией</p>	<p>Излияния базальтов в районе локальных наложенных впадин стадии активизации. Комплекс даек кислого субщелочного состава позднеорогенной стадии или стадии активизации</p>	<p>Гидротермальные низкотемпературные близповерхностные</p>	<p>Кремнисто-мышьяково-иордизитонастурановая</p>	

и условия локализации оруденения

Минеральные ассоциации	Главные рудоконтролирующие факторы	Морфология рудных тел
<p>Пироклор, монацит, отчасти циркон, бадделейт, ортит, сфен, иногда торит, бастнезит, ксенотим и др. Жильные минералы — в основном кальцит, отчасти доломит, анкерит, апагит, вермикулит, флогопит, оливин и др.</p>	<p>Обычно выполнение карбонатами центральных частей (ядер) магматических тел, жильные карбонаты нередко локализуются и в породах вмещающих комплексов</p>	<p>Жильные тела карбонатов площадью в десятки тысяч квадратных метров с вкрапленной и прожилково-вкрапленной рудной минерализацией. Размеры карбонатитовых «ядер» в центре массивов от долей до десятков квадратных километров</p>
<p>Настуран, небольшое количество сульфидов</p> <p>Настуран, небольшое количество сульфидов, урансодержащего антраксолита, кальцит.</p> <p>Урансодержащий антраксолит, настуран, в незначительном количестве сульфиды, карбонаты</p>	<p>Месторождения размещаются в пределах зоны активизации в благоприятных структурах различных комплексов пород. Вмещающими оруденение являются: синорогенные гранитсидные интрузии, геосинклинальные осадочные формации, осадочные и наземные вулканогенные формации позднеорогенных впадин, осадочные и вулканогенные образования стадии активизации</p>	<p>Руды прожилково-вкрапленные — среди гранитов, углисто-глинистых сланцев, покровов андезитов; жильные — в кислых эффузивах, их туфах и субвулканических интрузиях; пластовые и линзообразные — среди терригенных осадочных пород</p>
<p>Настуран, молибденит, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, марказит, кальцит</p> <p>Настуран, иордизит, самородный мышьяк, блеклая руда, халькопирит, арсенопирит, молибденит, сфалерит, кальцит, пирит, пирротин, марказит, иногда реальгар, аурипигмент. Кварц кальцит, анкерит</p>	<p>Структурный и возможно литохимический контроль оруденения. Урановая минерализация приурочена к системам малоамплитудных зон брекчирования и повышенной трещиноватости в породах нижнего структурного яруса, в известняках, амфиболитах, гранитах. Оруденение наиболее интенсивно в зонах нарушений среди сероводородистых кристаллических известняков и иногда амфиболитов</p>	<p>Сложноветвящиеся субпараллельные жилы, дающие иногда столбовые и линзообразные раздувы со штокверковым строением</p>

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождения	Состав
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Характерные особенности проявления магматизма		Урановорудные формации
<p>Область завершенной средне-верхнепалеозойской складчатости. Системы протяженных региональных разломов и оперяющих их тектонических нарушений в зонах сопряжения древнего срединного массива и его складчатого обрамления и в прибортовых частях внутреннего наложенного прогиба в пределах срединного массива</p>	<p>Зоны активизации контролируют размещение цепочек дискордантных многофазных интрузий гранитоидов и дайковых полей. Дайки кислого и субщелочного состава</p>	<p>Гидротермальные средне- и низкотемпературные близповерхностные</p>	<p>Сульфидно-арсенидно-настурановая („пятиэлементная“)</p> <p>Карбонатно-кварцевонастурановая</p> <p>Карбонатно-настурановая</p> <p>Сульфидно-настурановая</p>
<p>Область завершенной мезозойской складчатости. Мощные зоны региональных разломов стадии активизации, обуславливающие развитие наложенных впадин и угленосных грабен на гетерогенном складчатоблоковом фундаменте и контролирующие проявление сложного по составу полифациального магматизма этой стадии</p>	<p>Сложный по составу и условиям проявления близповерхностный магматизм — субщелочная базальто-андезито-липаритовая формация. Ритмическая деятельность вулканов центрального и линейного типов. В начале ритмов излияния эффузивов субщелочного основного и среднего состава, в завершающей стадии ритмов — эксплозивные извержения и экструзии липаритов и трахилипаритов</p> <p>Магматические образования субщелочной базальто-габброидной вулканогенно-интрузивной формации стадии активизации</p>	<p>Гидротермальные низкотемпературные близповерхностные</p> <p>Гидротермальные низкотемпературные близповерхностные</p>	<p>Флюорито-иордзитонастурановая</p> <p>Кремнистонастурановая и кремнисто-мышьяковонастурановая</p>

и условия локализации оруденения

Минеральные ассоциации	Главные рудоконтролирующие формации	Морфология рудных тел
<p>Настуран, арсениды и диарсениды никеля и кобальта, самородные висмут и серебро, в подчиненном количестве сульфиды меди, свинца, цинка; кварц, карбонаты, барит, флюорит</p> <p>Настуран, карбонаты (кальцит, реже доломит), гребенчатый кварц, флюорит, в незначительном количестве сульфиды</p> <p>Настуран, карбонаты (кальцит, манганокальцит), в незначительном количестве сульфиды, урансодержащий антраксолит</p> <p>Настуран, в переменных количествах галенит, халькопирит, сфалерит, арсенопирит, иногда золото, карбонаты (сидерит, кальцит, анкерит), барит, кварц</p> <p>Настуран, гидронастуран, редко браннерит, гематит, пирит, марказит, иордизит, реже галенит, сфалерит, в небольшом количестве пирротин, халькопирит, блеклая руда, киноварь, арсенопирит</p> <p>Кварц, карбонаты, флюорит, апатит, гидрослюды, монтмориллонит, хлорит</p> <p>Настуран, реже коффеинит, пирит, марказит, иногда реальгар, аурипигмент, самородный мышьяк, галенит, арсенопирит, иордизит. Халцедоновидный кварц, карбонаты, гидрослюды, каолинит, иногда альбит, серицит, редко флюорит, барит</p>	<p>Сочетание структурного и литологического контроля оруденения. Месторождения контролируются региональными разломами и располагаются, как правило, в экзоконтактах интрузий гранитов, редко в гранитах. Оруденение локализуется в системах трещин, сопряженных с региональными разломами, на участках пересечения ими благоприятных горизонтов пород</p> <p>Структурный контроль оруденения. Урановое оруденение приурочено:</p> <p>а) к системам разломов в породах складчатого фундамента с проявлением магматизма стадии активизации;</p> <p>б) к зонам интенсивной трещиноватости и дробления в магматических породах стадии активизации</p>	<p>Простой и сложной формы жилы, реже штокверки. Протяженность жил иногда достигает многих сотен метров (до нескольких километров) при сравнительно небольшой мощности (доли метра, первые метры). Жильные узлы имеют ветвистую, «древовидную» форму</p> <p>Крутопадающие линзообразные тела, жилы, морфологически сложные штокверковые тела различных размеров. Оруденение вкрапленное и прожилково-вкрапленное</p>

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождения	Состав
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Характерные особенности проявления магматизма		Урановородные формации
	Синхронное проявление в пределах депрессий вулканизма (липаритовые туфолавы, туфы, эффузивы среднего и реже основного состава) и осадконакопления	Низкотемпературные близповерхностные сложного генезиса в осадочно-вулканогенных отложениях наложенных впадин стадии активизации	Кремнисто-мышьяково-настурановая

### УСЛОВИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА (табл. 1)

Сложный и длительный процесс развития главнейших структурных элементов земной коры на различных стадиях сопровождался формированием эндогенного уранового оруденения различных генетических типов, для которых в той или иной мере устанавливается характер пространственных и временных связей с определенными комплексами геологических образований.

При разработке учения об эндогенной металлогении урана внимание исследователей постоянно привлекали щиты древних платформ, в пределах которых вскрыты наиболее глубокие доступные наблюдению части земной коры материкового типа и широко проявлено эндогенное урановое оруденение. Эндогенные месторождения урана в районах щитов представлены обширным комплексом урановородных формаций, относящихся к нескольким генетическим типам — пегматитовому, скарновому (скарноидному) и гидротермальному (гидротермально-метасоматическому). Общей особенностью таких месторождений является их локализация в тех областях щитов, где широко и полно проявились процессы регионального метаморфизма и ультраметаморфизма.

Многие исследователи рассматривают щиты как древнейшие подвижные пояса, вскрытые в различных, обычно глубоких сечениях.

Период раннего геосинклинального прогибания в развитии таких древнейших подвижных поясов характеризовался накоплением мощных толщ вулканогенных и осадочных пород, которые по мере погружения попадали в условия все более высоких температур и давлений и претерпевали изменения в условиях различных степеней метаморфизма. Н. Г. Судовиков, посвятивший проблеме взаимосвязи регионального метаморфизма и метаморфогенного гидротермального рудообразования ряд своих работ, отмечал, что на глубинах, отвечающих по своим термодинамическим показателям амфиболитовой фации, начинается постепенная смена зоны регионального метаморфизма зоной ультраметаморфизма (Судовиков, 1955, 1962, 1964а, 1965). Характерной чертой последней является проявление селективного плавления, фиксируемого обширными полями мигматитов. С глубиной резко возрастает пластичность пород в связи с увеличивающейся ролью межгранулярного расплава, и, наконец, на еще большей глубине в условиях гранулитовой фации метаморфизма ультраметаморфические процессы приобретают характер региональной гранитизации. Представление о том, что высо-

и условия локализации оруденения

Минеральные ассоциации	Главные рудоконтролирующие факторы	Морфология рудных тел
Настуран, реже коф-финит, пирит, самородный мышьяк, реальгар, аурипигмент; в небольшом количестве — марказит, сфалерит, галенит, халькопирит, арсениопирит; редко — блеклая руда, киноварь	Оруденение локализуется в вулканогенных и пролювиально-аллювиальных осадочных породах, частью в породах фундамента, в основном в тальвегах и редко в бортах палеодолин, разработанных в гранитном фундаменте. Рудоконтролирующими являются границы напластования пород, пологие разрывные нарушения (почти по пластообразованию пород), крутопадающие трещины	Пластообразные рудные тела, сочетающиеся с крутопадающими в фундаменте депрессии

кая тектоническая активность в областях геосинклинальных прогибов, выраженная в особенности в большой амплитуде вертикальных движений, обуславливает проявление регионального метаморфизма вплоть до ультраметаморфизма и многостадийной гранитизации, разделяется и многими другими исследователями (Богданов, Муратов, Хаин, 1963; Рудник, 1965; и др.). Процессы регионального метаморфизма и ультраметаморфизма и связанная с ними метаморфическая дифференциация обусловили высокую подвижность ряда рудогенных и петрогенных элементов. Некоторые исследователи считают, что процессы регионального метаморфизма являются главной причиной вертикальной геохимической зональности распределения в земной коре литофильных элементов, в том числе и урана (Семенов, Смыслов, 1967). Так, наиболее низкие и однородные концентрации его характерны для пород гранулитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма; породы эпидот-амфиболитовой и особенно зеленосланцевой фаций отличаются заметно более высокими концентрациями элемента. Миграция рудогенных элементов идет из глубинных зон метаморфизма и ультраметаморфизма в зоны более низких степеней метаморфизма. Согласно существующим представлениям, процессы избирательной миграции элементов наиболее интенсивно проявляются в стадию гранитизации. Такая гранитизация завершается плавлением и образованием анатектоидных магматических очагов.

В пространственной локализации эндогенного уранового оруденения в зонах регионального метаморфизма и ультраметаморфизма ведущая роль принадлежит литологическому и структурному факторам. Так, для урановорудных формаций пегматитового типа характерна приуроченность к районам широкого развития тел гранитов и сиенитов. Ураноносные пегматиты представлены дайко-штоко- и гнездообразными телами различных размеров, образующими поля и мощные пояса большой протяженности. Своеобразной морфологической формой проявления ураноносных пегматитов являются вытянутые штокверковидные зоны «пегматитовых мигматитов» (пегматитизированных мигматитов), возникающие в результате обильной инъекции тонких прожилков пегматитов в гнейсы и сланцы в экзоконтактных зонах гранитных массивов. С размещением гранитоидов в карбонатных толщах в ряде районов связано образование полей скарнов иногда железорудных и скарнированных пород, с которыми ассоциирует урановая минерализация. Промышленные урановые месторождения этого типа очень редки (место-

рождение Мэри Кэтлин в Австралии, представленное алланито-уранитовой (настурановой) формацией).

Важная группа урановорудных формаций на щитах связана с мнoгoстадийными процессами щелочного и карбонатного метасоматоза в зонах развития мощных зон милолитов и катаклазитов в приконтактовых частях массивов существенно калиевых гранитоидов. Некоторые из урановорудных формаций этого генетического типа (настурано-надкевитовая и уранинито-настурановая в зонах альбитизации и карбонатизации в железистых кварцитах) будут более подробно рассмотрены в специальном разделе настоящей работы.

В районах некоторых щитов, в частности Австралийского, известны урановые месторождения небольших масштабов, представленные магнетито-ильменито-давидитовой урановорудной формацией (Раднум-Хил), относящейся к генетическому типу высокотемпературных гидротермальных месторождений. Австралийские и близкие к ним месторождения Мозамбика (кальцитско-скарполито-давидитовая урановорудная формация) довольно подробно освещены в литературе (Домарев, 1956; Хейнрих, 1962; мн. др.). На примере этих и некоторых других районов (Давыдова, Шапошников, 1966) намечается, что образование давидитовой урановорудной формации связано с процессами гидротермального щелочного (альбитизация) или щелочного и карбонатного (скарполитизация, карбонатизация) метасоматоза, протекавшего в тектонических зонах в условиях среды, богатой железом и титаном (метаморфические и магматические породы основного состава).

Переходя к рассмотрению некоторых главнейших особенностей проявления уранового оруденения в байкальских и фанерозойских складчатых областях, следует напомнить, что в ходе их геологического развития выделяются собственно геосинклинальная стадия, стадия перехода геосинклинальной системы в мобильный складчатый пояс и стадия развития последнего до перехода в платформу. Основные геолого-тектонические особенности каждой из отмеченных стадий широко освещены в литературе (Семенов, 1959; Смирнов, 1962; Богданов и др., 1963; мн. др.) и останавливаться на их характеристике нет необходимости.

В связи с магматизмом собственно геосинклинальной стадии развития ни в СССР, ни в других странах, судя по имеющимся данным, не установлено сколько-либо значительных урановорудных проявлений.

До сравнительно недавнего времени считалось, что в стадию перехода геосинклинальной системы в мобильный складчатый пояс эндогенная урановая минерализация проявляется довольно широко и связана с батолитовыми интрузиями существенно калиевых гранитов, формирующимися в период главных фаз складчатости. К этой стадии развития складчатых областей относилось образование комплексных ураново-редкоземельных и ураново-редкометаллических пегматитовых, пневматолито-гидротермальных и гидротермальных высоко- и среднетемпературных месторождений, интересных главным образом в отношении редких земель, вольфрама, молибдена, бериллия. Однако полученные в последние годы данные заставляют пересмотреть положение о связи батолитоподобных интрузий калиевых гранитов с главными фазами складчатости. Во многих случаях в разных регионах устанавливается, что такие интрузии внедрялись после главных фаз складчатости по разломам, секущим сформировавшиеся складчатые структуры. По месту в общем развитии складчатых областей внедрение таких интрузий относится к поздне- или чаще постинверсионным стадиям.

Интенсивно и разнообразно эндогенная урановая минерализация проявляется в стадию развития и консолидации мобильного складчатого пояса до перехода его в платформу. В эту стадию происходило образование урановых месторождений практически одного генетиче-

ского типа — гидротермальных средне- и низкотемпературных близповерхностных, представленных значительным разнообразием урановорудных формаций (см. табл. 1).

Важной особенностью развития мобильных складчатых поясов в период после главных фаз складчатости (послеинверсионный или позднеорогенный периоды) является во многих случаях интенсивный магматизм, проявленный в интрузивной, эффузивной и переходной между ними формах. Состав магматических образований варьирует от основного (серия базальт — габбро) до кислого (серия липарит — гранит), часто с повышенной щелочностью.

Полифациальный характер проявления магматизма обусловил необходимость выделения особого типа магматических формаций, получивших название вулканогенно-интрузивных или вулканоплутонических (Устиев, 1966). Е. К. Устиев отмечает, что «... такие формации развиваются в поздние этапы эволюции орогенов в связи с заключительными тектоническими движениями, характеризующимися переработкой более ранних форм складчатости и появлением наложенных пологих прогибов и поднятий с весьма специфическими молассо-вулканогенными толщами, прорванными комплексом коагматических гипабиссальных и близповерхностных интрузий». Считается, что образование таких формаций связано с внутрикоровыми магмами сиалического типа. Стадия эволюции магматического очага при соответствующей структурной обстановке (проявление разломов глубокого заложения) предопределяет проявление андезито-диоритовой (трахиандезито-диоритовой) или липарито-гранитовой вулканогенно-интрузивной формации.

В наиболее типичных случаях для ранних стадий позднеорогенного магматизма характерна андезито-диоритовая формация, а для более поздних — липарито-гранитовая, часто с повышенной щелочностью, а также трахито-сиенитовая. В некоторых палеовулканических районах такие формации пространственно сближены и во времени последовательно сменяют одна другую, в других районах может наблюдаться пространственная разобщенность упомянутых формаций или резко преобладающая роль одной из них. Имеются случаи и сближенного во времени, почти синхронного проявления этих формаций.

Необходимо отметить, что некоторыми исследователями на примере отдельных регионов развивается представление о том, что своим многообразием породы позднеорогенного магматизма обязаны вскрытию глубинными разломами синхронно развивавшихся геохимически различных магматических очагов — базальтоидных в области симы и гранитоидных в сиале, — давших две разновозрастные магматические формации — базальтовую и гранито-липаритовую (Кен, 1967). Это представление важно для понимания наблюдаемых иногда «аномалий» в характере проявления и составе позднеорогенных магматических образований (сближенное во времени проявление липарито-гранитовой формации и комплекса щелочных пород (нефелиновых сиенитов и др.), представляющих одну из ветвей дифференциации базальтовой магмы).

Гидротермальные средне- и низкотемпературные урановые месторождения известны в районах интенсивного проявления различных по составу позднеорогенных вулканогенно-интрузивных формаций — трахиандезито- и андезито-диоритовой, липарито-гранитовой, трахито-сиенитовой. Они образуются в приповерхностных и близповерхностных условиях и, судя по минеральным ассоциациям, при средних и часто низких температурах.

Гидротермальные урановые месторождения размещаются в вулканогенных породах, образовавшихся при вулканизме в наземных условиях (преимущественно, но не всегда, в жерловых и субвулканических фациях), т. е. в верхнем структурном ярусе, залегающем на интенсивно дислоцированных и обычно глубоко эродированных образованиях гео-

синклинальной стадии развития складчатой области или на значительно более древних размытых складчатых структурах. В областях с более глубоким эрозионным срезом гидротермальные урановые месторождения размещаются в разломах нижнего структурного яруса или фундамента. В некоторых из этих разломов иногда устанавливается корневая система вулканических аппаратов или пояса даек. Местами же связь с магматическими породами позднеорогенной стадии развития не столь очевидна; в некоторых случаях такие породы могут даже отсутствовать.

Важно отметить, что промышленные гидротермальные урановые месторождения локализируются как в верхнем позднеорогенном или стадии позднейшей активизации структурных ярусах, так и в нижнем структурном ярусе.

Большой интерес в отношении эндогенного уранового оруденения представляют своеобразные структуры в пределах древних платформ и их щитов, молодых платформ и разновозрастных складчатых областей (области тектоно-магматической активизации, см. табл. 1). Вопрос о выделении особой третьей формы развития земной коры, наряду с геосинклиналями и платформами, имеет уже большую историю, и общие аспекты этой проблемы рассмотрены в работах В. В. Белоусова (1964, 1966), Н. П. Хераскова (1967), В. Л. Масайтиса и Ю. Г. Старицкого (1963, 1964), А. И. Семенова, Ю. Г. Старицкого, Е. Т. Шаталова (1966), А. Д. Щеглова (1966, 1968) и др. А. Д. Щеглов выделяет зоны автономной активизации, понимая под ними регионы, прошедшие в ранние периоды своей геологической истории геосинклинальную стадию развития, вплоть до превращения в область завершенной складчатости или платформу, и затем, спустя длительный промежуток времени, измеряемый часто несколькими геологическими периодами, подвергшиеся воздействию качественно новых тектонических процессов, не связанных в своем развитии с формированием геосинклинальных прогибов на смежных территориях.

Процессы активизации являются прежде всего процессами особого интенсивного глыбового типа тектонических движений, обусловленных, как считается, сложными термодинамическими перестройками в нижних частях тектоносферы материков — на границе верхней мантии и земной коры. Важной особенностью многих областей (зон) активизации является проявление в их пределах различных по составу магматических формаций, представленных как в плутонической, так и в вулканогенно-интрузивной фациях. А. И. Семенов, Ю. Г. Старицкий, Е. Т. Шаталов (1966) отмечают, что «для типа развития, именуемого активизация, ревивация, дива, характерны глыбовые движения большой амплитуды, интенсивный интрузивный и эффузивный, преимущественно щелочной и кислый магматизм и осадконакопление в приразломных прогибах и впадинах...».

Таким образом, по своей геологической сути такие зоны в верхних частях земной коры, доступных изучению, фиксируются как зоны интенсивных региональных разрывных нарушений глубокого заложения, обуславливающих блоковое строение и контролирующее проявление формационно и фациально разнообразного магматизма, т. е. являются зонами тектоно-магматической активизации. Наряду с этим известны примеры, когда процессы активизации выражаются лишь интенсивными блоковыми движениями или сводовыми поднятиями и в верхних, доступных наблюдениям частях не сопровождаются магматизмом. И если для областей тектоно-магматической активизации характерны интенсивные процессы гидротермального рудообразования, то в областях активизации без видимых проявлений магматизма иногда широко представлены экзогенные эпигенетические и телетермальные типы оруденения.

Зоны тектоно-магматической активизации лишь в последнее время становятся объектом тщательного геологического изучения, и естественно, что их классификация находится еще в начальной стадии. В настоящее время они установлены в областях древних платформ и их щитов, в пределах срединных массивов, в разновозрастных складчатых областях с завершённой складчатостью. Известны также примеры тектоно-магматической активизации молодых, в частности, эпигерцинских платформ.

В наиболее ярких случаях процессы тектоно-магматической активизации значительно оторваны во времени от периода формирования всех предшествовавших геологических образований. В областях древних платформ и их щитов разрыв во времени между периодами формирования платформенных отложений и проявлением тектоно-магматической активизации измеряется несколькими геологическими периодами и достигает сотен миллионов лет. В фанерозойских складчатых областях он может быть относительно небольшим и в некоторых случаях тектоно-магматическая активизация накладывается на области, только что вступившие в позднеорогенную или в платформенную стадии развития.

Характер магматизма в известных к настоящему времени зонах тектоно-магматической активизации весьма разнообразен. В некоторых районах интенсивно проявились вулканогенно-интрузивные формации — субщелочные базальто-андезито-липаритовая и базальто-габброидная, щелочная трахито-сиенитовая, трахиандезитовая и андезитовая. Особым типом проявления магматизма в ряде областей тектоно-магматической активизации являются крупные, часто многофазные интрузии гранитоидов при преобладающей роли существенно калиевых гранитов, образующие протяженные пояса и зоны.

Металлогенической особенностью зон тектоно-магматической активизации как в пределах древних платформ и щитов, так и в фанерозойских областях с завершённой складчатостью является формирование промышленно интересных типов гидротермальных средне- и низкотемпературных, обычно близповерхностных урановых месторождений.

В пространственной и, как считают многие исследователи, парагенетической связи с магматическими образованиями трахито-сиенитовой, субщелочных базальто-андезито-липаритовой и базальто-габброидной вулканогенно-интрузивных формаций стадии активизации отмечаются гидротермальные средне- и низкотемпературные месторождения кварцево-флюорито-сульфидно-настурановой и браннеритовой, кремнисто-настурановой, кремнисто-мышьяково-настурановой, флюорито-иордизито-настурановой урановорудных формаций.

В некоторых консолидированных складчатых областях, особенно на срединных массивах и в их обрамлении, региональные разломы стадии активизации контролируют проявление сложных многофазных гранитоидных комплексов. В тектонических нарушениях экзоконтактов интрузивных массивов, а иногда и в пределах самих массивов локализуется гидротермальное низкотемпературное близповерхностное урановое оруденение, представленное карбонатно-кварцево-настурановой, сульфидно-настурановой, сульфидно-арсенидно-настурановой («пятиэлементной») урановорудными формациями.

Зоны тектоно-магматической активизации с проявленным в их пределах вулканогенным (трахиандезитовая формация) и интрузивным (монциты, гранодиориты) магматизмом установлены в краевых частях некоторых эпигерцинских платформ. Характерной чертой этих зон является приуроченность к ним гидротермальных средне- и низкотемпературных урановых месторождений, представленных настурановой, карбонатно-настурановой, настурано-антраксолитовой, сульфидно-настурановой урановорудными формациями. В ряде случаев урановые место-

рождения зон тектоно-магматической активизации по вещественному составу руд, характеру окolorудных изменений, условиям локализации оруденения и т. п. обнаруживают много черт сходства с гидротермальными месторождениями позднеорогенных стадий развития складчатых областей (см. табл. 1).

При рассмотрении генетических типов урановой минерализации позднеорогенных стадий развития складчатых областей или зон активизации нельзя не обратить внимание на то, что и различные, и близкие по составу урановорудные формации проявляются в районах интенсивного магматизма, исключительно разнообразного как по характеру, так и по составу.

Действительно, месторождения рассматриваемых типов пространственно приурочены к районам проявления трахиандезито- и андезитодиоритовой, липарито-гранитовой, щелочной трахито-сиенитовой, субщелочных базальто-андезито-липаритовой и базальто-габброидной формаций, вулканогенных и вулканогенно-интрузивных.

Широко распространенным является представление о парагенетической связи уранового оруденения с близкими к нему по времени проявления магматическими образованиями позднеорогенной стадии развития складчатых областей или стадии активизации, т. е. об общности источника магматических образований и рудообразующих растворов. Практика поисковых работ во многих регионах убедительно свидетельствует о том, что там, где интенсивно проявился вулканогенно-интрузивный или интрузивный магматизм позднеорогенной стадии развития складчатых областей или стадии тектоно-магматической активизации, существуют реальные предпосылки для поисков промышленных месторождений урана. При этом важнейшим критерием потенциальной ураноносности района является длительность существования магматических очагов, обуславливающая дифференциацию и многофазность продуктов магматизма. Значение состава продуктов магматической деятельности как поискового критерия недостаточно ясно, но направление дифференциации магматического очага и комагматические ассоциации вулканогенно-интрузивных комплексов относятся к важным критериям выделения перспективно ураноносных районов (в оптимальных случаях дифференциация от базальта до трахидацита и липарита, в ряде случаев тенденция к повышению щелочности поздних дифференциатов и др.).

При оценке ураноносности районов проявления вулканогенно-интрузивного магматизма важнейшим поисковым признаком является наличие хорошо развитой и длительной по времени существования системы предрудных и интратрудных разрывных нарушений различных порядков, т. е. степень тектонической подготовки структур. Многие исследователи при выделении площадей под специализированное геологическое картирование и поисковые работы на уран в районах проявления магматизма позднеорогенной стадии развития складчатых областей или стадии тектоно-магматической активизации исходят из существования пространственной и парагенетической, по их мнению, связи оруденения с определенными магматическими формациями. Вместе с тем, вопрос о существовании и характере парагенетических связей уранового оруденения с самыми разнообразными по составу (как это имеет место в целом ряде регионов) магматическими образованиями этими исследователями лишь постулируется, но не доказывается. Одновременно накапливается все больше данных, свидетельствующих о том, что проявления близкого по времени уранового оруденения в позднеорогенные стадии развития складчатых областей или стадии тектоно-магматической активизации имеют место вне зависимости от состава развитых вблизи этих проявлений магматических формаций.

Интересные соображения высказаны по этому поводу А. И. Семеновым и А. А. Смысловым (1967) на основании изучения геохимических

критериев связи оруденения с горными породами. Они отмечают, что связь низко- и среднетемпературных месторождений урана и многих других металлов, образующихся в близповерхностных условиях в позднеорогенные стадии развития складчатых областей или стадии тектоно-магматической активизации, с интрузивными и вулканогенными породами носит чаще всего лишь пространственный характер и что образование таких месторождений обусловлено большим комплексом геологических процессов. Авторы отводят решающую роль в эндогенном рудообразовании всей совокупности явлений геологического развития (осадконакопление, метаморфизм, магматизм), приводящих к образованию в земной коре геохимических зон, обогащенных рудогенными элементами, находящимися в форме, доступной для их последующего извлечения термальными растворами как глубинного, так и поверхностного происхождения. При этом основное значение в возникновении потенциально рудоносных комплексов пород А. И. Семенов и А. А. Смыслов придают региональному метаморфизму, ультраметаморфизму и осадконакоплению, а не интрузивному магматизму. Вместе с тем они отмечают, что максимальная мобилизация рудных компонентов под воздействием термальных растворов отмечается в конечные стадии развития подвижных поясов и стадии платформенной активизации в связи с широким проявлением завершающей наземный магматизм гидротермальной и фумарольной деятельности.

Такой подход к проблеме связи уранового оруденения с магматическими формациями конечной стадии развития подвижных поясов и зон активизации в известной мере разрешает ряд существующих противоречий, намечает пути решения остающихся неясными вопросов и вместе с тем требует комплексного всестороннего изучения всей совокупности процессов, приводящих в конечном счете к формированию эндогенных урановых месторождений.

### УСЛОВИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА (табл. 2)

В основу классификации экзогенных урановых месторождений положены, с одной стороны, приуроченность отдельных типов месторождений к крупным структурным элементам земной коры, характеризующимся определенной спецификой геотектонического развития, а с другой — резкое отличие в типах рудообразующих процессов, проявившихся на различных стадиях формирования рудовмещающих отложений (сингенез + ранний диагенез и эпигенез). В табл. 2 показана приуроченность всех типов экзогенных месторождений урана к основным структурным элементам земной коры — складчатым областям (геосинклинальная и постинверсионная стадия развития), платформам (фундамент и чехол) и областям тектонической активизации (фундамент и чехол). Предложенная типизация урановых месторождений по их приуроченности к региональным геологическим структурам является дальнейшим развитием представлений А. И. Семенова (1959) о тесной связи главнейших типов урановых месторождений с определенными крупными геологическими структурами. В частности, в ней вслед за Е. Д. Карповой (1968), сформулировавшей важное положение о том, что области тектонической активизации (орогенные области) характеризуются вполне определенной металлогенической спецификой и контролируют размещение месторождений различных металлов, включая уран, предпринята попытка показать приуроченность различных типов эпигенетических и инфильтрационных месторождений урана к древним и молодым областям зонам тектонической активизации.

По типам рудоформирующих процессов экзогенные месторождения урана подразделены на две большие группы: собственно осадочные, где рудные концентраты накапливались одновременно с рудовме-

Геологические условия проявления

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождений	Состав	
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Формационный тип ураноносных отложений		Ураноорудные формации	
<b>I. Древние платформы</b>				
<i>1. Фундамент</i>				
Геосинклинальные прогибы по глубинным разломам, расчленившим пенепленизированное архейское основание	Терригенная, терригенно-вулканогенная формации	Осадочно-метаморфогенные месторождения (осадочно-метаморфизованные) в кварцевых конгломератах, гравелитах, кварцитах	Уранинитовая, уранинито-бранеритовая, золото-уранинитовая	
<i>2. Чехол</i>				
Прогибы в пределах центральных и краевых частей платформ	Терригенно-сланцевая формация	Осадочные месторождения урана в черных сланцах	Урановая, битумно-урановая	
<b>II. Складчатые области</b>				
<i>1. Геосинклинальные стадии развития</i>				
В геосинклинальных поднятиях и на склонах примыкающих прогибов	Геосинклинальная углеродисто-кремнистая формация	Осадочные месторождения урана в углеродисто-кремнистых сланцах	Ванадий-урановая	

## экзогенных месторождений урана

и условия локализации оруденения

Фашиальные, литологические и геохимические особенности рудовмещающих пород	Характерные черты локализации оруденения	Морфология рудных тел	Главные минеральные ассоциации
<p>Фашии прибрежно-морские, дельтовые, аллювиальные, пролювиальные. Кварцито-конгломератовые, сланцевые и вулканогенные толщи (диабазы, габбро-диабазы), местами переслаивающиеся с джеспилитами и карбонатными породами. Фашия метаморфизма зеленосланцевая до эпидотамфиболитовой</p>	<p>Оруденение локализовано в погребенных депрессиях (палеореки, палеопотоки, прогибы, дельты) в архейском фундаменте. Оруденение приурочено к цементу кварцито-конгломератовых пород</p>	<p>Пласты, линзы значительной протяженности, прихотливой формы (ленты, струи), но небольшой ширины и мощности</p>	<p>Уранинит, браннерит, тухолит, монацит, торит, золото, пирит и другие сульфиды</p>
<p>Фашии прибрежно-морские, терригенно-хемогенные. Граптолитовые, диктонемовые и другие глинистые и кремнистые битуминозные сланцы («квасцовые» и т. п.), иногда переслаивающиеся с известняками и пластами фосфоритов</p>	<p>Черные битуминозные, нередко пиритизированные сланцы с невысокими концентрациями урана. Наибольшие содержания отмечаются в пропластках и линзах, обогащенных битумом или органическим веществом («колым»). Распространение ураноносных сланцев подчиняется оптимальной фашиальной зоне на некотором расстоянии от береговой линии палеобассейна</p>	<p>Линзующиеся залежи или пласты</p>	<p>Уран сорбирован органическим веществом и связан с фосфатом Са, образует уранорганические соединения; сульфиды</p>
<p>Фашии мелководно-морские, терригенно-хемогенные. Углеродистые сланцы в кремнисто-сланцевых пачках, включающих горизонты известняков и фосфоритов. Степень метаморфизма обычно не выше фашии зеленых сланцев</p>	<p>Горизонты тонкого переслаивания углеродистых, углеродисто-кремнистых сланцев. Уран и сопутствующие элементы сконцентрированы главным образом в прослоях пород с повышенным содержанием углеродистого вещества</p>	<p>Выдержанные по простиранию горизонты и линзующиеся пластовые залежи</p>	<p>Уран связан с углеродистым веществом и, возможно, фосфатом Са; реже окислы Fe</p>

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождений	Состав	
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Формационный тип ураноносных отложений		Урановорудные формации	
<p>Краевые реже внутренние прогибы, локальные впадины на континентальном склоне</p> <p>2. <i>Постинверсионные стадии развития</i></p> <p>Преимущественно бортовые части позднеорогенных впадин и краевых прогибов</p>	<p>Геосинклинальная и переходная к платформенной кремнисто-фосфоритоносная формация</p> <p>Пестроцветная терригенная формация</p>	<p>Осадочные урановые месторождения в фосфоритах</p> <p>Экзодиагенетические селено-урановые месторождения в пестроцветных терригенных отложениях</p>	<p>Фосфорно-урановая</p> <p>Селено-урановая</p>	
<p><b>III. Молодые платформы</b></p> <p>1. <i>Чехол</i></p> <p>Область сочленения платформы с окраинным прогибом</p>	<p>Терригенно-глинистая формация</p>	<p>Осадочные сорбо-биогенные фосфорно-урановые месторождения в глинах</p>	<p>Фосфорно-урановая с редкими вемлями</p>	
<p>Межгорные и предгорные прогибы этапа пенепленизации платформы</p>	<p>Терригенная угленосная формация</p>	<p>Урановые месторождения осадочно-диагенетического типа в угленосных отложениях</p>	<p>Урановая</p>	

и условия локализации оруденения

Фациальные, литологические и геохимические особенности рудовмещающих пород	Характерные черты локализации оруденения	Морфологии рудных тел	Главные минеральные ассоциации
<p>Фации прибрежно-морские, фосфоритонасные. Пачка переслаивания пластов или линз оолитовых (или массивных) фосфоритов, фосфоритонасных сланцев, известняков и терригенных отложений</p>	<p>В фосфоритонасных слоях нередко наблюдается прямая зависимость концентраций урана от содержания фосфора</p>	<p>Выдержанные по простиранию и на площади пласты и пластовые залежи</p>	<p>Уран связан с фосфатом Са</p>
<p>Фации аллювиальные и пролювиальные, реже лагунные. Область фациального замещения пестроцветных аллювиальных песчаников и алевролитов красноцветными пролювиальными песчаниками, гравелитами, конгломератами</p>	<p>В сероцветных песчаниках (в цементе) на контакте красноцветных и сероцветных отложений, а также в сероцветных отложениях палеорусел, обогащенных углефицированными растительными остатками, фосфатным веществом, сульфидами Fe и Cu</p>	<p>Линзовидные залежи, согласные с напластованием вмещающих пород, или пологосекущие залежи</p>	<p>Настуран, урановые черни, силикаты, ванадаты, молибдаты U, небольшое количество сульфидов и селенидов U</p>
<p>Фации прибрежно-морские, сероводородные. Пачки зеленовато-серых глин с прослоями, обогащенными костными остатками рыб с незначительной примесью кластического материала. Максимальные концентрации костных остатков отмечаются в зоне перехода мелководной части шельфа к глубоководной</p>	<p>На склонах поднятий в локальных прогибах и впадинах эрозионно-тектонического происхождения. Скопления урановых остатков рыб отмечаются в нижних частях нескольких рудных горизонтов</p>	<p>Компактные или расслоенные (типа «конский хвост») рудные залежи. Пластово-линзовидные тела или вытянутые «крукавообразные» залежи</p>	<p>Уран связан с фосфатизированными костными остатками рыб. Сульфиды Fe</p>
<p>Фации аллювиальных равнин, прирусловые и торфяно-болотные. Пачка ритмично чередующихся нематаморфизованных терригенных отложений и углей низкой степени углефикации. Характерна резкая фациальная изменчивость и многочисленные размывы</p>	<p>Преимущественно в краевых частях угленосных бассейнов, в серии пластов угля с повышенной зольностью и в прирусловых песчаниках. В углях оруденение нередко распространяется на всю мощность пластов, в песчаниках тяготеет к глинистым среднезернистым разностям. Оруденение многоярусное</p>	<p>В угольных пластах и песчаниках рудные залежи вытянуты в виде полос согласно с напластованием пород</p>	<p>В углях — гуматы уранила, черни, сульфиды; в песчаниках — настуран, черни, сульфиды Fe</p>

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождений	Состав	
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Формационный тип ураноносных отложений		Урановорудные формации	
<b>IV. Области тектонической активизации</b>				
<b>1. Древние платформы</b>				
<b>а. Чехол</b>				
Стабильные участки платформ в их краевых интенсивно активизированных частях. Краевые прогибы	Красноцветная терригенная формация	Эпигенетические битумно-урановые месторождения в красноцветных терригенных отложениях	Битумно-урановая, собственно урановая	
<b>2. Молодые платформы</b>				
<b>а. Фундамент</b>				
Активизированные участки геосинклинальных прогибов	Геосинклинальная углеродисто-кремнисто-глинистая формация	Эпигенетические урановые месторождения в углеродисто-кремнистых сланцах, связанные с деятельностью термальных растворов	Ураниито-бранинитовая и сульфидно-настурановая	
		Инфильтрационные месторождения урана в углеродисто-кремнистых сланцах	Сульфидно-настурановая	
			Урано-ванадатовая	

и условия локализации оруденения

Фациальные, литологические и геохимические особенности рудовмещающих пород	Характерные черты локализации оруденения	Морфология рудных тел	Главные минеральные ассоциации
<p>Фации аллювиальных равнин, реже прибрежно-морские. Песчано-глинисто-известковистые образования различных фациальных зон. Наиболее широко распространены терригенные красноцветные отложения, которые восстановлены на локальных участках. Рудовмещающие толщи нередко обогащены битумами, на отдельных участках прорваны интрузивными телами</p>	<p>Четкий контроль участками эпигенетически восстановленных сероцветных пород, которые локализируются в пределах интенсивно раздробленных антиклинальных, куполовидных и солянокупольных структур. Эпигенетические изменения в породах обычно тяготеют к разломам и область их развития превышает иногда в несколько раз площадь оруденелых пород. Оруденение многоярусное</p>	<p>Линзообразные и пластообразные залежи, которые вытягиваются в прерывистые рудные полосы; реже жиллообразные, гнездообразные, столбообразные тела</p>	<p>Ураноносный оксидкерит, коффинит, настуран, безуранный твердый битум, сульфиды</p>
<p>Фации мелководно-морские, терригенно-хемогенные. Пачки переслаивания углеродистоглинисто-известковистых сланцев с повышенными концентрациями U, Mo, Ni, TR и др.</p>	<p>Контроль разрывными складчатыми структурами. Мобилизация урана и его перераспределение связаны с деятельностью восходящих термальных растворов (постмагматических или метаморфогенных)</p>	<p>Пластообразные залежи. Рудные тела линзовидной и неправильной формы, гнезда в зонах минерализованных брекчий</p>	<p>Уранинит, браннерит, настуран и урановые черни; сульфиды Fe и Mo, арсениды Ni, Co и др.</p>
<p>Фации мелководно-морские, терригенно-хемогенные. Первично ураноносные сланцы, обогащенные углеродистым веществом и сульфидами Fe, часто с характерным пятнистым осветлением</p>	<p>В верхней части восстановительной зоны, иногда на границе окислительной и восстановительных геохимических зон, в межпластовых зонах дробления, в сводовых частях складок</p>	<p>Гнезда, линзы, неправильной формы залежи, минерализованные зоны дробления</p>	<p>Настуран, остаточные и регенерированные черни, сульфиды и др.</p>
<p>Фации мелководно-морские, терригенно-хемогенные. Первично ураноносные сланцы, каолинизированные и лимонитизированные</p>	<p>В зонах повышенной проницаемости, развитых по границам кремнистых и сланцевых пачек. Оруденение формируется в окислительных условиях в древних и современных корках выветривания, а также в зонах циркуляции подземных трещинных вод</p>	<p>Гнезда, линзы, минерализованные зоны дробления</p>	<p>Урано-ванадаты и фосфаты урана, урансодержащие гидроокислы Fe</p>

Региональные критерии выделения ураноносных районов		Генетический тип месторождений	Урановородные формации
Основные структурные элементы земной коры и положение в их пределах ураноносных районов	Формационный тип ураноносных отложений		
<p><b>б. Чехол</b></p> <p>Соприжения платформ и активизированных областей, краевые части межгорных впадин в пределах последних</p>	<p>Пестроцветная терригенная и сероцветная терригенно-глауконитовая формации</p>	<p>Инфильтрационные урановые месторождения в сероцветных терригенных отложениях</p>	<p>Урановая</p>
<p>Краевые части межгорных впадин активизированных областей</p>	<p>Терригенная карбонатная формация</p>	<p>Инфильтрационные урановые месторождения в карбонатных отложениях</p>	<p>Урановая</p>
<p>Унаследованные прогибы в пределах областей активизации</p>	<p>Терригенная угленосная формация</p>	<p>Инфильтрационные урановые месторождения в угленосных отложениях</p>	<p>Урановая</p>
<p><b>3. Области проявления слабых дифференциальных неотектонических движений, наложенных на структуры различного типа</b></p>	<p>Наземная континентальная терригенная формация</p>	<p>Экзодиагенетические урановые месторождения в аллювиальных отложениях речных долин</p>	<p>Урановая</p>

в условия локализации оруденения

Фациальные, литологические и геохимические особенности рудомещающих пород	Характерные черты локализации оруденения	Морфология рудных тел	Главные минеральные ассоциации
<p>Фации прибрежно-морские и континентальные. Первично сероцветные или красноцветные проницаемые терригенные отложения различных фациальных зон, обычно восстановленные в результате внедрения битумов. Чередование проницаемых горизонтов с восстановителями (битумы, растительная органика, сульфиды и др.) с непроницаемыми глинами</p>	<p>Четкий контроль зонами пластового окисления, которые развиваются в проницаемых сероцветных горизонтах. Зоны пластового окисления распространены в артезианских бассейнах на удалении до 30 км от выходов фундамента, вскрытых в пределах эродированных горст-антиклинальных структур. Оруденение многоярусное</p>	<p>В плане — линзы, в разрезе — залежи удлиненно-серповидной формы (роллы). Рудные тела образуют рудоносные полосы значительной протяженности</p>	<p>Регенерированные урановые черни, настуран, редко коффинит, ураноносный оксикерит, минералы Se и Mo сульфиды Fe и карбонаты</p>
<p>Фации мелководно-морские, карбонатные. Серые и темно-серые органично-оолитовые известняки, доломиты, мергели, обогащенные нефтяным веществом, которые залегают среди слабопроницаемых горизонтов и пестроцветных глинисто-алевролитовых и глинисто-песчаных отложений</p>	<p>Четкий контроль зонами пластового окисления, которые развиваются в проницаемых горизонтах известняков на крыльях крупных поднятий в краевой наиболее приподнятой части межгорной впадины. Оруденение многоярусное</p>	<p>В плане пластово-линзовидные тела вытягиваются в рудоносные полосы. В разрезе нередко отмечается ролловая форма рудных тел</p>	<p>Урановые черни и смолка, ураноорганические соединения; тюямунит, карнитит; молибденит, натронит, сульфиды</p>
<p>Фации аллювиальных равнин, прирусловых и торфяно-болотные. Пачки с ритмично чередующимися неметаморфизованными терригенными проницаемыми отложениями и углями низкой степени углефикации. Характерна резкая фациальная изменчивость и многочисленные размыты</p>	<p>Четкий контроль зонами пластового окисления, которые развиваются в основном в сероцветных проницаемых песчаниках с растительными остатками. Оруденение локализуется как в песчаниках, так и в углях с повышенной зольностью. В углях уран располагается на контакте с пластово-окисленными песчаниками. Оруденение многоярусное</p>	<p>В песчаниках вытянутые пластовые залежи, в сечении обычно ролловые формы. В углях преобладают крупные пластовые залежи неправильной формы, приуроченные к кровле угольного пласта</p>	<p>Настуран, гидро-настуран, урановая чернь, гуматы уранила, сульфиды Fe</p>
<p>Фации аллювиальных равнин — озерные, болотные, русловые и др. Ритмичное чередование сероцветных песчаников, глин, алевролитов, галечников, отвечающих нескольким эрозионным циклам речных долин</p>	<p>В сероцветных песчаниках и глинах с органическим веществом, в переуглубленных и подпруженных участках палеодолин, в пенепленизированных горных областях. Ураноносные участки аллювия сопрягаются с инфильтрационными рудопроявлениями урана в карманах коры выветривания пород фундамента</p>	<p>Вытянутые залежи и рукава, образующие прерывистые рудные полосы</p>	<p>Урановые черни и смолка, ураноорганические соединения, сульфиды Fe</p>

шающими осадками или в стадию их литификации (сингенез + ранний диагенез), и эпигенетические (наложенные), оруденение которых формировалось в литифицированной породе в проницаемых горизонтах подземными водами (растворами)\*. В последнюю группу включены также экзодиагенетические месторождения, имеющие черты сходства с месторождениями первой и второй групп\*\*.

В формировании собственно осадочных месторождений урана ведущая роль принадлежит процессам сорбции урана из водных растворов органическим веществом (сапропель, костные остатки рыб) и соосаждения урана с фосфатом кальция, по-видимому, с изоморфным замещением ионом урана иона кальция в структуре апатита в стадию седиментогенеза и в основном раннего диагенеза. Осаждению урана на данных стадиях, безусловно, способствовала восстановительная обстановка, возникавшая в процессе разложения органического вещества. Таким образом, образование повышенных концентраций урана происходит одновременно с формированием вмещающих их осадков и генезис оруденения, по существу, связан с генезисом рудовмещающих отложений.

К этой же группе следует также относить россыпные месторождения, образование которых связано с механическим накоплением урановых и других радиоактивных минералов, устойчивых к агентам выветривания (консолидированные и современные россыпи). Последние достаточно редко образуют промышленные скопления и поэтому не рассматриваются авторами.

Дальнейшая детализация группы осадочных месторождений проведена на основе выделения главных осадителей урана и специфики рудовмещающих отложений (фациальный тип рудовмещающих отложений, их литологический состав и т. д.).

Следует подчеркнуть, что осадочные месторождения урана могут быть приурочены к различным структурным элементам земной коры и нередко месторождения одного генетического типа (ураноносные фосфориты, ураноносные черные сланцы и др.) повторяются в различных геотектонических обстановках. Так, например, ураноносные фосфориты встречаются в отложениях геосинклинальной серии, в платформенных осадках и в лагунных отложениях позднеорогенных впадин (табл. 3). Однако наибольшие концентрации урана наблюдаются в фосфоритах геосинклинальной кремнисто-фосфоритоносной формации, что и определило помещение указанного типа в прилагаемую табл. 2.

В формировании месторождений второй группы — эпигенетических месторождений — преобладающая роль принадлежит процессам перехода растворимых соединений  $U^{+6}$  (в основном уранилкарбонатных комплексных анионов) в нерастворимую форму  $U^{+4}$  (в виде  $UO_2$ ) из водных растворов в результате окислительно-восстановительных и, по-видимому, щелочно-кислотных реакций. Основной особенностью месторождений этой группы является наложенный характер оруденения, не сопрягающийся с первичными особенностями вмещающих отложений, т. е. афациальность уранового оруденения (Батулин, 1965). Рудные концентрации подчиняются эпигенетической (наложенной) минералогеохимической зональности, которая отражает результат взаимодействия подземных вод с литифицированными проницаемыми рудовмещающими отложениями. При этом уран и другие полезные компоненты привнесены в данные отложения подземными водами извне.

Группа экзогенных эпигенетических урановых месторождений подразделена по типу направленности движения рудоформирующих под-

\* Один из первых четких определений признаков экзогенного эпигенетического уранового оруденения сформулированы В. Н. Холодовым и др. (1961).

\*\* Характеристика особенностей экзодиагенетических месторождений приводится ниже.

Таблица 3

## Геотектонические условия накопления ураноносных осадков

Тип месторождения урана	Геосин-клиналь-ные	Постин-версион-ные	Платфор-менные	Эпохи тектони-ческой активиза-ции
Осадочный в углеродисто-кремнистых и черных сланцах	+	+?	+	—
Осадочный в фосфоритах	+	+	+	—?
Осадочно-диагенетический в угленосных отложениях	+?	+	+	—

Условные обозначения: (+) — значительные скопления металла, (+) — незначительные скопления металла.

земных вод, вслед за Л. С. Евсеевой (1967), на две подгруппы: месторождения, сформированные нисходящими водами (инфильтрационные), и месторождения, сформированные восходящими термальными водами (эпигенетические). К последним относятся в настоящее время битумно-урановые месторождения и некоторые месторождения в углеродисто-кремнистых сланцах. Для битумно-урановых месторождений предполагается возможность смешения восходящих метеорных вод глубокой циркуляции с постмагматическими флюидами, а источником урана могут быть не только рудовмещающие красноцветные толщи и породы фундамента, но и упомянутые выше флюиды. Генезис эпигенетических битумно-урановых месторождений нельзя считать полностью выясненным, и предлагаемое в настоящем сборнике описание этих месторождений в разрушенных нефтегазоносных структурах не претендует на решение всех спорных вопросов. На плато Колорадо (США), помимо собственно битумно-урановых месторождений, известны экзогенные эпигенетические месторождения, не обнаруживающие связи с нефтегазоносными структурами, в рудах которых ураноносные битумы или не устанавливаются или присутствуют в небольшом количестве. Поэтому месторождения плато Колорадо описываются нами как «эпигенетические битумно-урановые месторождения в красноцветных терригенных отложениях» (см. табл. 2).

Эпигенетические урановые месторождения в углеродисто-кремнистых сланцах, связанные с деятельностью термальных растворов, отнесены к экзогенным месторождениям с большей долей условности, так как в отношении их генезиса существуют различные точки зрения и многие исследователи относят их к классу гидротермальных месторождений. Однако от гидротермального урановое оруденение рассматриваемого типа отличается отсутствием окolorудных изменений и геохимическим сходством руд и рудовмещающих пород.

Дальнейшая детализация подгруппы инфильтрационных месторождений, характеризующихся общей рудоконтролирующей кислородной эпигенетической зональностью и приуроченностью оруденения к границе зоны пластового окисления, основана на выделении отдельных типов месторождений по особенностям литологического состава пронизываемых рудовмещающих горизонтов (терригенные, карбонатные и угленосные отложения) и по типу основного осадителя урана (органическое вещество нефтяного или углистого рядов). В частности, в инфильтрационных урановых месторождениях в терригенных и карбонат-

ных отложениях основным осадителем является нефтяное вещество и продукты его изменения, а в месторождениях в угленосных отложениях — органическое вещество углистого рида.

К группе экзогенных эпигенетических урановых месторождений относятся также экзодиагенетические урановые месторождения, которые были выделены в самостоятельный тип Е. А. Головиным (Батулин и др., 1965). Для месторождений урана этого типа характерно накопление органического вещества (торфа, гумуса, сапропеля) в приповерхностных условиях в озерах, болотах и речных долинах и сорбция урана органическим веществом из грунтовых вод. Следовательно, уран принесен в породу в различные стадии диагенеза и литификации осадка и концентрация его не зависит от условий осадконакопления рудоносных горизонтов (как это имеет место для группы осадочных месторождений), а определяется содержанием урана в грунтовых водах и длительностью фильтрации последних через горизонты, обогащенные органическим веществом.

Следует отметить, что к группе эпигенетических урановых месторождений относятся также сформированные в процессе выветривания месторождения урана, в которых, по представлениям Е. А. Головина, концентрации урана контролируются вертикальной окислительной зональностью, сформированной просачивающимися сверху вниз грунтовыми водами (Батулин и др., 1965). В табл. 2 этот тип не включен.

В отличие от собственно осадочных месторождений все экзогенные эпигенетические месторождения урана пространственно приурочены к одному крупному структурному элементу земной коры — к области интенсивной тектонической активизации. Это положение справедливо как для эпигенетических и инфильтрационных месторождений урана, связанных с молодыми областями тектонической активизации, по представлениям Е. А. Головина, так и для эпигенетических битумно-урановых месторождений, приуроченных к древним областям тектонической активизации. Экзодиагенетические урановые месторождения в аллювиальных отложениях тяготеют к областям проявления слабых дифференциальных неотектонических движений, которые могут накладываться на различные типы геологических структур (складчатые области и платформы).

Рассмотрение условий формирования осадочных и эпигенетических экзогенных месторождений урана позволяет установить, что в течение всех геологических периодов в процессе экзогенного образования рудных концентраций, как в период седиментогенеза и раннего диагенеза, так и при эпигенетических процессах, определяющую роль играло благоприятное сочетание двух факторов — наличие урансодержащих растворов (нередко с очень незначительной концентрацией металла) и присутствие во вмещающих породах активных сорбентов или восстановителей урана, способных или захватывать уран в процессе соосаждения (фосфаты Са) или формировать сорбционный (для осадочных месторождений) и восстановительный (для эпигенетических месторождений) геохимические барьеры. Контрастность геохимического барьера, длительность пересечения последнего водными растворами и концентрация металла в водном растворе определяют в конечном итоге размеры рудных залежей.

Экзогенные урановые месторождения возникали в различные геологические периоды и в самых различных геотектонических условиях (см. табл. 2). Однако при этом четко намечается тенденция увеличения количества различных типов месторождений к концу полного геотектонического цикла развития крупных участков земной коры (геосинклиналь → складчатая область → платформа → область тектонической активизации) независимо от возраста основных структур. Это находит свое объяснение в том, что в период тектонической активизации крупных

областей земной коры, с одной стороны, проявилась бóльшая дифференциация условий осадконакопления и усложнение климатической зональности, а с другой — происходило пространственное перераспределение основных типов подземных вод и, возможно, смещение этих вод с поднимающимися по многочисленным разломам рудными растворами.

При рассмотрении собственно осадочных месторождений урана следует помнить, что, по представлениям Г. Б. Наумова и др. (1963), в современных водоемах в процессе осадконакопления не происходит непосредственного осаждения растворенного в воде урана. Данные, полученные многочисленными исследователями, показывают, что и в минувшие геологические периоды главную роль в процессе образования осадочных месторождений урана играли процессы сорбции и соосаждения, протекавшие главным образом в стадию диагенеза в иловом растворе в период, когда осадки могли активно сорбировать или захватывать уран из придонных растворов, а концентрация металла в последних восполнялась путем диффузии. Выше упоминалось, что основным сорбентом урана в эту стадию формирования породы являлось органическое вещество, а основным соосадителем — фосфат кальция.

В осаждении урана из подземных вод в эпигенетических месторождениях ведущая роль принадлежит сероводороду, генерируемому в процессе аэробного и анаэробного разложения нефтяного вещества, нередко с участием процессов бактериальной деятельности (Германов, 1967), и углисту органическому веществу.

Надо отдавать себе отчет о том, что экзогенные эпигенетические месторождения урана интенсивно изучаются лишь в последние годы и многие важные вопросы генезиса месторождений и их классификации еще требуют своего решения. Не вдаваясь в дискуссии по спорным вопросам, отметим на примере штата Колорадо лишь самые характерные черты отличия подгруппы инфильтрационных месторождений урана от эпигенетических битумно-урановых месторождений.

Эпигенетические битумно-урановые месторождения сформированы, по-видимому, на большей глубине от поверхности и имеют более древний возраст по сравнению с инфильтрационными. Битумно-урановые месторождения локализуются преимущественно в красноцветных отложениях и контролируются участками вторичного восстановления, не обнаруживая связи с зонами пластового окисления, столь характерными для инфильтрационных месторождений. Отложения, вмещающие битумно-урановые месторождения, прорваны интрузиями кислого состава, а термальность рудоформирующих растворов подтверждается минералого-геохимическими ассоциациями руд, явлениями метасоматоза и формами выделения рудных минералов, из которых преобладающими являются ураноносные оксикериты и коффинит. Все указанные признаки не характерны для инфильтрационных месторождений урана.

Накапливающиеся за последние годы факты позволяют уже сейчас говорить о том, что некоторые типы экзогенных эпигенетических месторождений в процессе дальнейшего изучения, возможно, займут промежуточное положение между классами экзогенных и эндогенных месторождений (Воробьев, Грушевой и др., 1967). Высказанное предположение может оказаться справедливым не только для битумно-урановых месторождений и эпигенетических месторождений в углеродисто-кремнистых сланцах, но и для инфильтрационных урановых месторождений, условия образования которых (в частности, источник металла в подземных водах) изучены еще недостаточно.

В табл. 2 помещены основные промышленные типы экзогенных месторождений урана, а также некоторые типы, не имеющие пока промышленного значения (ураноносные фосфориты, ураноносные сланцы),

но часто встречающиеся в практике геологосъемочных работ. Кроме того, в таблицу включен тип ураноносных конгломератов, который многими исследователями относится либо к гидротермальным, либо, чаще всего, к осадочно-метаморфогенным образованиям. Ниже, как и ранее А. И. Семеновым (1959) и некоторыми другими исследователями, они рассматриваются в группе собственно осадочных месторождений. К этой же группе отнесены и месторождения урана в углеродисто-кремнистых сланцах, которые в некоторых классификациях относятся к типу осадочно-метаморфогенных урановых проявлений. Изучение месторождений урана в сланцах показывает, что по своей природе они являются сорбционно-диагенетическими, и решающую роль в образовании повышенных концентраций урана играли литолого-фациальные условия периода осадконакопления (сероводородные фации с высоким содержанием органического вещества). Последующая мобилизация урана в результате различных процессов приводит к образованию эпигенетических концентраций урана (эпигенетические и инфильтрационные месторождения урана в углеродисто-кремнистых сланцах), которые локализируются в пределах первичных рудовмещающих толщ.

В табл. 2 помещено 13 типов экзогенных месторождений урана. Десять наиболее важных типов рассмотрены в специальных разделах настоящего руководства, некоторые особенности остальных трех типов месторождений (осадочные месторождения урана в черных сланцах и фосфоритах и инфильтрационные урановые месторождения в карбонатных отложениях) приводятся ниже.

Осадочные месторождения урана в черных сланцах связаны с отложениями чехла древних платформ и тяготеют к отложениям терригенно-сланцевой формации. Рудовмещающие глинистые и алеврито-глинистые отложения, сформированные в прибрежно-морских условиях крупных морских бассейнов, обогащены сапропелем и нередко фосфатом кальция. В процессе метаморфизма рудовмещающие горизонты превратились в черные сланцы, обогащенные углеродистым веществом (битуминозные сланцы). В отдельных районах (Швеция) органическое вещество образует пласты и линзы («кольм»), в которых концентрация урана достигает промышленных значений. В обычных черных сланцах концентрация урана составляет  $n \cdot 10^{-3}\%$  и лишь в отдельных прослоях с наиболее высокой концентрацией органического вещества (до 30%) достигает  $(1 \div 3) \cdot 10^{-2}\%$ . Уран связан с органическим веществом и фосфатом кальция и, возможно, с минералами глин. Установлена прямая зависимость концентраций урана от содержания органического углерода и фосфора. Ураноносные сланцы нередко обогащены ванадием, а на отдельных локальных участках Mo, Ni, Co, Cu и Se.

Литолого-фациальный анализ, проведенный Т. Н. Давыдовой и Ц. Л. Гольдштейн, показал, что формирование ураноносных алеврито-глинистых отложений происходило в благоприятной фациальной зоне, которая подчинялась границе палеобассейна и была удалена от нее на некоторое расстояние (Альтгаузен, 1956). Для отложений оптимальной зоны ураноаккумуляции характерно довольно значительное количество терригенного алевритового материала (20—40%) в разрезе рудоносной пачки, а также наибольшая обогащенность осадков органическим веществом по сравнению с другими зонами.

Осадочные урановые месторождения в фосфоритах отмечаются в различных геоструктурных зонах, но наиболее значительные по запасам скопления урана отмечаются в краевых прогибах миогеосинклинальной области, где они тяготеют к геосинклинальной переходной к платформенной кремнисто-фосфоритоносной формации (тип формации «Фосфория» в США). Формирование хемогенных фосфоритов происходило в прибрежно-морских условиях, по-видимому, на континентальном склоне, где имели место восходящие холодные течения,

способствовавшие осаждению фосфатов. Ураноносные фосфориты содержат обычно от 10 до 30%  $P_2O_5$  и сравнительно низкие концентрации урана —  $n \cdot 10^{-3}\%$ , лишь изредка достигающие в отдельных пластах до  $5 \cdot 10^{-2}\%$ . Концентрация урана в пластах фосфоритов обычно находится в прямой зависимости от содержания  $P_2O_5$  и обратной зависимости от содержания  $CO_2$ . Пласты ураноносных фосфоритов сложены оолитовыми или массивными разновидностями и, помимо урана и фосфора, они обогащены Ag, V, Pb, Cr, Ni, Mo и Se. Уран и другие элементы сорбировались фосфатом кальция в процессе соосаждения как в стадию седиментогенеза, так и при диагенезе осадков в процессе длительного взаимодействия придонных и иловых вод. Ураноносные фосфориты занимают значительные площади и могут рассматриваться как комплексные руды на фосфор и уран.

Задачи специализированного картирования в областях развития фосфоритоносных отложений как в геосинклинальных, так и в платформенных условиях сводятся к установлению полей развития ураноносных фосфоритов с незначительными концентрациями урана, среди которых возможно обнаружение пластов высокоураноносных фосфоритов. Зоны максимального фосфоритообразования и ураноаккумуляции нередко совпадают и определяются приуроченностью к границе материкового склона, поэтому большое значение при сравнительной оценке перспектив областей развития фосфоритоносных отложений играет палеогеографический и фашиальный анализ этих отложений.

Учитывая сравнительно низкие концентрации урана в фосфоритах и черных сланцах, при выборе площадей для постановки работ следует уделять внимание экономическому положению перспективных районов, помня, что ураноносные фосфориты и черные сланцы могут представлять практический интерес лишь в освоенных районах.

Инфильтрационные урановые месторождения в карбонатных отложениях известны в краевых частях межгорной впадины в области интенсивной тектонической активизации, которая захватила краевую часть молодой платформы. Межгорная впадина представляет собой крупный нефтегазоносный бассейн. Урановое оруденение располагается в отложениях терригенно-карбонатной формации и приурочено к крупным эродированным, в прошлом нефтегазоносным положительным структурам в наиболее приподнятой краевой части впадины. Рудовмещающие отложения представлены проницаемыми серыми и темно-серыми органогенно-оолитовыми известняками, доломитами и мергелями прибрежно-морского происхождения, которые сформировались на небольшом удалении от береговой линии. Известняки, как правило, залегают среди слабопроницаемых пестроцветных глинисто-алевритовых и песчано-глинистых отложений. Ближе к центральным частям впадины в рудовмещающих карбонатных горизонтах известны промышленные скопления нефти. Несмотря на приуроченность уранового оруденения к положительным структурам, четкого контроля рудных залежей современным структурным планом не наблюдается и они нередко тяготеют как к антиклинальным, так и синклинальным складкам и пересекаются пострудными разломами.

Размещение линзовидных, пластовых и ролловых рудных залежей в пределах карбонатных горизонтов подчиняется рудоконтролирующей эпигенетической зональности, которая детально описана В. Н. Холодовым и др. (1961). Сверху вниз по потоку выделяются четыре литолого-геохимические зоны: 1) зона пластовой лимонитизации и выщелачивания карбонатных пород; 2) зона обеления, растворения, кальцитизации и пиритизации (зона пробега); 3) зона уранового оруденения; 4) зона мало измененных пород. Не рассматривая подробно зоны, можно отметить, что приведенная эпигенетическая зональность близка к той, которая описана в статье Г. В. Грушевого и Е. М. Шмариовича

настоящего сборника, рассматривающей инфильтрационные урановые месторождения в терригенных отложениях.

Более поздние исследования показали, что зона обеления, расположенная между зонами окисления и уранового оруденения, развивается в карбонатных породах далеко не всегда и может быть объяснена процессами пострудного восстановления, наложенными на зону пластовой лимонитизации (Воробьев и др., 1967).

Основными рудными минералами являются урановая смолка и черни и, по-видимому, уранорганические соединения, которые вместе с нерастворимыми твердыми битумами приурочены к стилолитовым швам, трещинам и порам в карбонатной породе. Граница распространения стилолитов в породе определяет контуры рудных тел. Рудоносные породы интенсивно пиритизированы, а вдоль вогнутых частей роллов отмечаются крупные конкреции эпигенетического кремнезема. Руды обогащены V, Mo, Co, Ni, Pb, Zn.

Инфильтрационные урановые месторождения в карбонатных отложениях, по мнению многих исследователей, сформированы нисходящими кислородсодержащими ураноносными водами, что и определяет специфику методики их поисков. Перспективные площади располагаются в краевых частях впадин на высоких крыльях артезианских бассейнов, в глубоких частях которых известны скопления нефти и газа. Наиболее перспективными отложениями являются органогенно-оолитовые известняки мелководно-морского происхождения, сформированные вблизи границ палеобассейна против участков дельт палеорек. Карбонатные отложения в пределах таких участков характеризуются повышенным кларком урана по сравнению с обломочными и глинистыми породами (Данчев и др., 1966).

---

*Часть II*

Характеристика промышленных типов  
уранового оруденения и вопросы методики  
крупномасштабного специализированного  
геологического картирования  
и прогнозирования ураноносных районов

### УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ШИТОВ В ЗОНАХ РЕГИОНАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА И УЛЬТРАМЕТАМОРФИЗМА

В складчатых зонах щитов древних платформ с широким развитием регионального метаморфизма и ультраметаморфизма распространены специфические типы месторождений урана. Наиболее интересные из них заключены в щелочных (альбититы) и карбонатных метасоматитах, отчасти в кварц-полевошпатовых метасоматитах (пегматоидах).

Пегматоиды, щелочные (альбититы) и карбонатные метасоматиты, содержащие промышленные концентрации урана, формировались, в ряде случаев замещая калиевые и аплитовидные граниты, пегматиты, а в отдельных местах жильные диабазы. Так как калиевые и аплитовидные граниты обычно завершали развитие интрузивно-ультраметаморфических циклов, то, следовательно, рудные метасоматиты образовались после интрузивно-ультраметаморфических пород. Характер минералов, возникших при рудном метасоматозе, типичен для пневматолито-гидротермальных процессов. Радиологический возраст рудоносных метасоматитов обычно близок к возрасту гранитоидов, распространенных в районах размещения урановых месторождений. Это обстоятельство позволяет относить время формирования метасоматических урановых месторождений к заключительным, пневматолито-гидротермальным, стадиям интрузивно-ультраметаморфических циклов.

В зависимости от характера рудообразующих процессов, состава вмещающих пород выделяются три важные формации месторождений урана: а) молибденито-уранинитовая в пегматоидных кварц-полевошпатовых метасоматитах; б) настурано-ненадкевитовая в зонах альбитизации среди гранито-гнейсов; в) настурано-ненадкевитовая и уранинитовая среди измененных натриевым и карбонатным метасоматозом толщ железистых кварцитов\*.

Пространственно перечисленные формации урановых месторождений нередко разобщены. В то же время все они могли возникать в связи с одним или несколькими интрузивными и интрузивно-ультраметаморфическими циклами (схема).

#### МОЛИБДЕНИТО-УРАНИНИТОВАЯ ФОРМАЦИЯ В ПЕГМАТОИДНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

Ураноносные пегматоиды докембрия нередко распространены в районах развития сложноскладчатых гиперстеновых и графитсодержащих гнейсов, амфиболитов. Гнейсы и амфиболиты по сланцеватости

---

\* Перечисленные названия формаций даны редактором. Авторы их называют: месторождения урана а) пегматоидной, б) альбититовой и в) железистой формации.



Развитие складчатости, обусловившей региональ-  
Интрузии основных и

↑  
Классификация

Фазы и стадии ультра-  
метаморфизма

<p>Региональное образо- вание парагнейсов (3-10-4%) и амфиболи- тов (2-10-4%) (амфибо- литовая и гранулитовая фазии метаморфизма)</p>	<p>1 стадия</p>	<p>2 стадия</p>	<p>3 стадия</p>	<p>3 фаза гранити- зации с привносом щелочей флюида- ми кристалли- зующейся магмы калевых гра- нитов</p>
<p>Развитие гнейсификации и 1 фазы гранитизации, вероятно, под влиянием выноса из базальтовой магмы водных флюидов с натрием, кремнием, алюминием</p>		<p>2 фаза гранити- зации с привносом калия флюи- дами кристал- лизующейся адамеллитовой магмы</p>	<p>3 фаза гранити- зации с привносом щелочей флюида- ми кристалли- зующейся магмы калевых гра- нитов</p>	<p>Развитие гранитизационной дифференциации со снижением температуры, с уменьшением изоморфизма в минералах</p>

\* Стрелки указывают направление процессов.

\*\* Здесь и далее указаны кларки урана для отдельных типов пород.

инъецированы многочисленными дайкообразными телами гранито-гнейсов, микроклиновых и аплитовидных гранитов, пегматитов. Перечисленные породы рассеяны согласными или остроосекающими зонами дробления и трещиноватости. В них нередко развивались ураноносные пегматоиды. Последние возникали в результате метасоматического преобразования даек микроклиновых гранитов, иногда гнейсов (контактирующих с гранитами), аплитовидных гранитов, отчасти пегматитов.

Пегматонды отличаются от пегматитов широким развитием гетеробластических структур, обусловленных незакономерным чередованием и сочетанием участков, линз, скоплений неравномернозернистого полевого шпата, стекловидного кварца, слюды, пироксенов, амфиболов с участками, характеризующимися графическим прорастанием кварца и полевых шпатов. При развитии указанных образований путем замещения гиперстеновых гнейсов происходила частичная перекристаллизация гиперстена с образованием крупных кристаллов. Руды кварц-гиперстенового состава чаще чем другие содержат вкрапленность молибденита, пирротина, иногда арсенопирита, леллингита и других сульфидов. В пегматоидах значительно чаще, чем в пегматитах, встречаются реликты первичных пород, которые подверглись метасоматозу.

Ураноносные пегматоидные тела в зонах, ослабленных дроблением, имеют неправильные ветвящиеся линзообразные и жилообразные формы. Линзы и жилообразные тела кулисообразно и прерывисто сменяют друг друга, нередко располагаясь параллельно в несколько рядов, перемежаясь с участками безрудных пород. Рудоносные зоны объединяют многочисленные сближенные тела ураноносных пегматондов.

Состав урановых пегматоидных руд непостоянен. Породообразующие минералы здесь представлены микроклином (20—80%), олигоклазом и андезином (5—40%), кварцем (10—80%), гиперстеном и другими пироксенами, амфиболом, биотитом (5—50%). Главным урановым минералом в рудах является уранинит, иногда с примесью заметных количеств тория (в этих случаях состав минерала приближается к бреггериту). Из других радиоактивных минералов в незначительном количестве присутствуют ураноторит, монацит, циртолит, радиоактивные сфен, циркон, апатит, ксенотим. В виде убогой вкрапленности отмечаются молибденит, магнетит, гематит, пирит, пирротин, халькопирит, галенит. Наряду с тонковкрапленным уранинитом, в некоторых пегматоидных рудопроявлениях встречается уранинит почти в виде мономинеральных крупнокристаллических скоплений до 3—10 см в поперечнике. Такие мономинеральные гнезда уранинита в виде прерывистых цепочек иногда вытягиваются вдоль трещин.

Случаи метасоматического развития пегматоидов по пегматитам говорят об их более позднем образовании. Отсутствие заметной хлоритизации в гиперстене, амфиболах и биотите пегматоидов, даже в тех случаях, когда они содержат вкрапленность уранинита, позволяет рассматривать этот тип урановых месторождений в качестве переходного от пегматитовых к гидротермальным.

#### НАСУРАНО-НЕНАДКЕВИТОВАЯ ФОРМАЦИЯ В АЛЬБИТИТАХ

В последние годы большое значение приобретают месторождения редких металлов в альбититах. Альбититы, как пегматоиды, скарны и грейзены, являются носителями различных рудных месторождений, представляющих не одну, а группу рудных формаций. А. А. Беус (1962) и другие авторы подробно охарактеризовали редкометалльные месторождения альбититовой формации. В последние годы выявлены месторож-

дения настурано-ненадкевитовой формации в гранито-гнейсах докембрия. Месторождения представлены альбититами, содержащими прожилково-вкрапленное урановое оруденение. Альбититы среди гранито-гнейсов докембрия формировались в крупных протяженных разломах, имеющих сложное строение. Это целые системы разрывов с милонитами, катаклазитами, участками трещиноватых пород. Здесь можно выделять главные нарушения, которые непрерывно или в виде кулис прослеживаются на значительные расстояния по простиранию и сопровождаются опережающими разрывами. Долгоживущие разломы, несущие урановое оруденение, сосредоточены преимущественно в зонах экзоконтактов, реже эндоконтактов массивов калиевых гранитов. Неоднократное дробление альбитизированных пород и альбититов позволяет считать, что формирование их продолжалось и в процессе развития гидротермального метасоматоза. Возможно, многочисленные подвижки и дробление пород в зонах развития гидротермальных щелочных метасоматитов были вызваны остыванием гранитных масс. Уменьшение объемов гранитных массивов при остывании вызывало напряжения в зонах контактов гранитов с вмещающими толщами. Эти напряжения в течение длительного времени приводили к разрывам пород, способствуя проникновению по трещинам щелочных растворов, содержащих уран.

Альбититы и альбитизированные породы в разломах наблюдаются в виде прерывистых неправильных тел, зон, пластообразных залежей, вытянутых согласно со сланцеватостью вмещающих пород, иногда секущих последние. Метасоматиты часто резко выклиниваются по простиранию и падению, их границы с вмещающими породами бывают очень сложными.

Зоны экзоконтактов докембрийских калиевых гранитов обычно характеризуются большим разнообразием пород. Здесь часто распространены гнейсы, возникшие за счет преобразования вулканогенно-осадочных пород, амфиболиты, разнообразные гранитоидные гнейсы. Среди последних распространены гранодиорито-гнейсы, калиевые, аляскитовые и аплитовидные граниты, пегматиты.

Метасоматическое замещение альбитом разнообразных минералов в породах сопровождалось развитием хлорита, эпидота, крокидолита, эгирина, гидрослюд, цеолитов, каолинитов. Весь этот комплекс минералов возникал при сравнительно невысоких температурах, типичных для гидротермальных процессов.

Метасоматическое развитие альбитизации приводило к возникновению новых пород: если содержание альбита в породах достигает 70% и более, то эти породы принято относить к альбититам. В зависимости от преобладающих минералов-примесей выделяют кварцевые, хлорито-эпидотовые, эгирино-рибекитовые и другие альбититы. Породы, содержащие менее 70% альбита, в зависимости от преобладания тех или иных минералов называют альбито-микроклиновыми, кварцево-альбитовыми, хлорито-эпидото-альбитовыми и т. д. Обычно минералогические особенности натриевых метасоматитов зависят от интенсивности проявленной альбитизации, особенностей состава растворов и первичного состава преобразуемых пород.

Наиболее слабое проявление натриевого метасоматоза выражено в виде незначительной альбитизации плагиоклазов и хлоритизации цветных компонентов в породах. При этом серые цвета переходили в розовато-серые, которые хорошо заметны макроскопически. Эти начальные преобразования обычно охватывают заметно большие площади, чем занимаемые участками с интенсивно проявленным метасоматозом.

При более интенсивном проявлении альбитизации в гранитоидах нередко почти целиком замещаются альбитом плагиоклаз и кварц, а ка-

лиевый полевой шпат сохраняется. Подобные метасоматиты альбит-микроклинового состава по химическому и минеральному составам аналогичны сиенитам. Они часто ошибочно описываются под названием сиенитов или постмагматических сиенитов, а при наличии остаточного кварца относятся к кварцевым сиенитам. Но сиениты, как и граниты, не могут быть постмагматическими, так как возникали метасоматически в условиях ультраметаморфизма, а не гидротермального метасоматоза. Многие из этих пород пережили стадии расплава и кристаллизацию из него. Поэтому гидротермально-метасоматические альбит-микроклиновые породы недопустимо называть сиенитами, а равно и постмагматическими сиенитами, как и кварцевые альбититы (содержащие до 25% кварца) неправильно было бы называть постмагматическими гранитами.

В участках интенсивно проявленной альбитизации плагноклаз, кварц и калиевые полевые шпаты в гранитоидах нацело замещаются альбитом с образованием альбититов. Часто встречаются пористые породы, образовавшиеся по гранитоидам. В таких породах почти нацело выщелочен кварц, частично плагноклаз, оставшийся плагноклаз замещен альбитом. Пористость выщелоченных пород достигает 10—15%, размеры пустот имеют 3—15 мм в поперечнике. Полости пустот нередко содержат новообразования в виде жеедок из мелких кристалликов горного хрусталя, хлорита, эпидота, на которые иногда нарастают корочки сферолитового строения каолинита и цеолитов.

Процессы альбитизации в гранито-гнейсах развивались главным образом в виде псевдоморфного метасоматоза с сохранением структур и текстур исходных пород, подвергавшихся замещению. Наиболее распространенные разновидности альбититов имеют сахаровидное и крупнопластинчатое строение. Первые возникли при замещении парагнейсов, частично аплитовидных гранитов. Крупнопластинчатые разновидности альбититов образовались по крупнозернистым гранитоидам. Альбититы, замещившие пегматиты, являются наиболее крупнозернистыми и широкопластинчатыми.

Урановая минерализация в альбититах сопровождалась отложением в трещинах дробления призматически-зернистого альбита, хлорита, карбоната, гематита, сульфидов железа, свинца и меди. Урановые минералы тесно ассоциируют с перечисленными компонентами, образуя микропрожилки и микровкрапленность ненадкевита, настурана, коффинита, браннерита, уранотитанатов, реже уранинита, давидита. Вторичные минералы представлены урановыми чернями, уранофаном, β-уранотилом, казолитом, болтвудитом, отенитом, туюмунитом. Урансодержащие акцессорные минералы: апатит, малакон, анатаз, сфен, углеродистое вещество. Рудоносные альбититы, кроме наличия урановых и ураноносных минералов, ничем другим от безрудных альбититов не отличаются. Цвет их красновато-коричневато-буроватый, но нередко серый и светло-серый. При относительно широком развитии альбититов и альбитизированных пород урановая минерализация наблюдается лишь в отдельных участках метасоматитов. В распределении щелочных метасоматитов среди гранито-гнейсов проявляется слабо выраженная зональность. Наиболее четко, в виде слабого изменения пород, выражающегося в хлоритизации цветных минералов, серицитизации и некоторой альбитизации плагноклаза, выражена внешняя зона. Промежуточная зона представлена альбит-микроклиновыми породами, а внутренняя — альбититами. Урановые руды, как правило, заключены в альбититах.

Месторождения настурано-ненадкевитовой формации в альбититах монометаллы. При геохимическом изучении околорудных пород этих месторождений отмечается несколько повышенное содержание ванадия, бериллия, свинца.

## НАСТУРАНО-НЕНАДКЕВИТОВАЯ И УРАНИНИТОВАЯ (ЖЕЛЕЗО-УРАНОВАЯ) ФОРМАЦИИ В ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ И СЛАНЦАХ, ИЗМЕНЕННЫХ НАТРИЕВЫМ И КАРБОНАТНЫМ МЕТАСОМАТОЗОМ

К месторождениям настурано-ненадкевитовой и уранинитовой формации относится своеобразное урановое оруденение, распространенное в толщах железистых кварцитов, а также в других породах, богатых железом и магнием. В литературе месторождения этого типа известны также под названием «железо-урановая формация» (Мелков и Пухальский, 1957; Якжин, 1961; Готман, Зубрев, 1963; и др.). Р. П. Петров, В. С. Карпенко, Ю. А. Мещерский (1969) рассматривают упомянутую группу под названием «месторождения урана в железорудных формациях докембрия».

Толщи железистых кварцитов оказывали значительное сопротивление процессам ультраметаморфического метасоматоза. Процессы гнейсификации и гранитизации в этих толщах быстро гасились, поэтому железистые кварциты и переслаивающиеся с ними породы (при достаточной мощности) местами остаются измененными лишь до фации зеленых сланцев.

В зонах, где толщи железистых кварцитов все же испытали гранитизацию, нередко возникали породы не гранитного, а сиенитового состава. При гранитизации железистых кварцитов большое количество железа переходило в растворы, последние в более высоких горизонтах железистых кварцитов замещали прослойки кварца и силикатов с отложением магнетита, при этом в ряде мест формировались залежи богатых магнетитовых руд и зоны железистых кварцитов, обогащенные магнетитом. Образование урановых руд связано с процессами гидротермального метасоматоза. Этот процесс был многостадийным. На основании изучения ассоциаций метасоматических минералов и их соотношений между собою установлены стадии: 1) эгиринизации; 2) развития щелочных амфиболов; 3) альбитизации; 4) карбонатизации; 5) окварцевания. Процесс гидротермального метасоматоза носил регрессивный характер.

Гидротермальный метасоматоз железистых кварцитов также, как процесс гранитизации, вызывал миграцию железа и образование в верхних горизонтах кварцитов залежей богатых железных руд.

Образование ураноносных метасоматитов в толщах железистых кварцитов происходило по тектоническим зонам, сложным породами повышенной проницаемости. Формирование зон повышенной проницаемости происходило в участках сложной складчатости с наложенными разрывными нарушениями.

Ураноносные метасоматиты получили широкое развитие в замках крупных сжатых синклиналильных складок с крутым погружением осей, в участках флексуобразных складок или толщ с опрокинутым залеганием. Обычно на перечисленные складчатые структуры были наложены многочисленными согласные и секущие разломы с брекчиями и милонитами различной мощности. Соотношения тектонических брекчий показывают, что разломы возникали до, во время и после оруденения.

Урановая минерализация в метасоматитах железистых кварцитов проявлялась не всегда. Образование эгиринно-щелочно-амфиболовых пород, метасоматических кварцитов, амфиболо-магнетитовых руд урановым оруденением не сопровождалось. Альбитизация здесь двух возрастов. В раннюю стадию альбитизация развивалась преимущественно по обогащенным глиноземом сланцам, что приводило к образованию сахаровидных альбититов с биотитом. Эта стадия альбитизации происходила одновременно с эгиринизацией и рибекитизацией, урановой минерализацией она не сопровождалась. Во вторую стадию альбитизации возникли призматически-зернистые и сферолито-лучистые альбититы.

Они замещали не только сланцы, но и железистые кварциты, эгирино-рибекитовые породы, магнетитовые руды.

Разновозрастность перечисленных типов альбититов установлена по секущим контактам. В призматически-зернистых альбититах, образованных по биотитовым сланцам, распространены хлорит, крокидолит, гидрослюды, реликты биотита, гематит, пирит. В призматически-зернистых альбититах, заместивших железистые породы, много новообразованного гематита, крокидолита, гидрослюд, гидрограната, пирита, мушкетовита, иногда встречается молибденит. Призматически-зернистые альбититы часто являются носителями урановых руд. Последние формировались также при карбонатном метасоматозе и при образовании сульфидно-карбонатно-кварцевых прожилков.

В месторождениях настурано-ненадкевитовой и уранинитовой формаций по минеральным ассоциациям выделяются следующие типы руд: 1) апатито-малаконовый в альбититах; 2) настурано-уранинито-ненадкевитовый в альбититах; 3) настурано-уранинитовый в карбонатных метасоматитах; 4) сульфидно-настурановый в карбонатно-кварцевых прожилках.

Апатито-малаконовый тип связан с ранними стадиями образования призматически-зернистых альбититов. Здесь известны разновидности апатитовых, апатито-малаконовых и малаконовых урановых руд.

Уран в рудах содержится главным образом в виде изоморфных примесей в апатите и малаконе. В незначительном количестве встречается браннерит, еще реже уранинит, силикаты урана. Малакон образуется после апатита, а браннерит цементирует раздробленные зерна апатита и малакона. Ураноносные тела представлены гнездами, линзами и залежами альбититов или альбитизированных эгирино-рибекитовых и других пород с вкрапленностью ураноносных минералов. Породы, вмещающие залежи урановых руд: железистые кварциты, амфиболиты, мраморы, иногда аплитовидные граниты.

Настурано-уранинито-ненадкевитовый тип также связан с образованием призматически-зернистых альбититов. Этот тип оруденения развивался несколько позже апатито-малаконовой минерализации. Главным урановым минералом руд является ненадкевит, в меньших количествах встречаются уранинит, настуран, иногда малакон, апатит, браннерит, сфен. Перечисленные минералы образуют микровкрапленность и прожилковые скопления в призматически-зернистых альбититах. Рудные тела настурано-уранинито-ненадкевитового типа встречаются в виде пластовых залежей и имеют промышленное значение.

Руды настурано-уранинитового типа в карбонатных метасоматитах иногда являются одновременно и железными рудами. Урановая минерализация здесь возникала одновременно с метасоматическим замещением карбонатами кварца и силикатов в магнетитовых кварцитах и амфиболо-магнетитовых сланцах. Уранинит и настуран в рудах образуют микровкрапленность, тесно сростаясь с гематитом, магнетитом. При карбонатизации нередко развивались ланцетовидный гематит, мушкетовит, гидрослюды, иногда хлорит, крокидолит, барит, редкая вкрапленность сульфидов. Ураноносные карбонатно-магнетитовые руды образуют пластообразные и штокообразные залежи.

Руды сульфидно-настуранового типа возникли в конце гидротермально-метасоматических процессов; они секут метасоматические кварциты, которые замещают ураноносные альбититы и карбонатные метасоматиты с уранинитом. Сульфидно-настурановые руды наблюдаются в виде линзовидных тел. Помимо настурана, вкрапленности сульфидов, в рудных телах развиты кварц, карбонат, гидрослюда, хлорит. Настуран в рудах образует вкрапленность и гнездовые почти мономинеральные скопления.

## О ГЕНЕЗИСЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА В ПЕГМАТОИДАХ, АЛЬБИТИТАХ СРЕДИ ГРАНИТО-ГНЕЙСОВ И В ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ

Рассмотренные выше три формации урановых месторождений возникли в результате метасоматического преобразования различных пород. Наиболее высокотемпературными из перечисленных рудных образований являются месторождения урана в пегматитах и пегматоидах, которые созданы пневматолитовыми флюидами. Месторождения урана в альбититах среди гранито-гнейсов и железистых породах, судя по минералогическому составу руд, принадлежат к типичным гидротермальным (мезотермальным) образованиям. Как уже подчеркивалось, формирование месторождений урана вышеперечисленных формаций, вероятно, происходило после образования наиболее молодых комплексов пород интрузивно-ультраметаморфических циклов, так как руды замещают эти породы. Охарактеризованные типы урановых руд возникли уже после ультраметаморфических процессов, в пневматолито-гидротермальную стадию (см. схему на стр. 54—55). Но существуют и другие взгляды на генезис урановых месторождений указанных рудных формаций.

Большинством геологов в настоящее время признано, что гранитоиды докембрия, образованные путем гранитизации, в результате ультраметаморфизма могли переходить в расплавы, т. е. магматическое состояние. Обогащение поздних гранитоидов ураном, по сравнению с более ранними, объясняется процессами гранитизационной дифференциации, порождаемой магматическими расплавами.

Из схемы видно, что калиевые и аплитовидные граниты богаче ураном, чем вулканогенно-осадочные породы докембрия. Часть этих гранитов проходила стадию расплава. Уран, заключенный в расплавах гранитов, легче мог перемещаться и концентрироваться в виде месторождений, чем рассеянный уран метаморфизованных вулканогенно-осадочных толщ. Особенности химических составов последних при их гранитизации определяли металлогеническую специализацию возникавших гранитных магм.

Первичное обогащение вулканогенно-осадочных толщ ураном в некоторых случаях могло способствовать образованию гидротермальных месторождений, но этот процесс имел второстепенное значение. Значительно большее значение имели процессы обогащения пород ураном в заключительные фазы и стадии интрузивно-ультраметаморфических циклов. В это время в разломах возникали зоны гранитов, пегматитов и пегматоидов, обогащенные ураном. Зоны ураноносных пегматитов и пегматоидов преимущественно располагаются среди пород гранулитовой фации метаморфизма. Крупные ураноносные зоны альбититов предпочтительно развиты в долгоживущих разломах среди пород амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма. Растворы, создававшие месторождения урана в альбититах, проходили значительные отрезки по вертикали. Наличие на глубине в долгоживущих разломах крупных масс обогащенных ураном гранитоидов, пегматитов и пегматоидов существенно способствовало обогащению ураном щелочных гидротерм.

Важным фактором в образовании гидротермальных месторождений было общее снижение температур в растворах, вызывавшее резкое уменьшение интенсивности метаморфизма минералов, что лучше всего видно на плагноклазах. В гидротермальных условиях емкость решеток в минералах резко падала, анортитовая молекула уже не могла входить в состав плагноклазов, развивался альбит, рудные компоненты образовывали самостоятельные минералы, нередко концентрируясь в виде крупных залежей. При ультраметаморфизме (гранитизации) высокие температуры флюидов благоприятствовали рассеива-

нию металлогенных элементов вследствие большой емкости кристаллических решеток.

На основании всего изложенного месторождения описанных формаций следует относить к гидротермальным.

#### ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ КРУПНОМАСШТАБНОГО КАРТИРОВАНИЯ В ЗОНАХ УЛЬТРАМЕТАМОРФИЗМА (см. прилож. 1)

Интенсивное проявление ультраметаморфических процессов в докембрии и отсутствие фаунистических остатков затрудняет геологическое картирование, в связи с чем здесь на первое место выступают литолого-петрографические и петрохимические признаки пород, закономерности минеральных ассоциаций. В частности, хорошим литологическим маркирующим горизонтом могут служить железистые кварциты, которые не только в значительной степени сохраняют свое строение и состав, но и предохраняют ассоциирующие с ними породы (сланцы, песчаники) от интенсивного воздействия гранитизирующих агентов, являясь своеобразными барьерами гнейсификации и гранитизации. В меньшей степени первичные особенности пород сохраняются в мономинеральных кварцитах и амфиболитах. Широко распространенные песчано-сланцевые толщи в условиях ультраметаморфизма легко преобразуются в гнейсы, а также различные гранитоидные породы и мигматиты.

При проведении крупномасштабных геологосъемочных работ необходимо расчленение мигматитов по составу и структурам инъекционного гранитоидного материала, с одной стороны, и по реликтовым включениям и структурам исходных пород, с другой. В большинстве случаев это возможно.

Особенно тщательно должны картироваться формации калиевых и аплитовидных гранитов. Строение и развитие массивов калиевых гранитов обуславливало образование аплитовидных гранитов. С последними пространственно тесно связаны месторождения урана изученных формаций. Отдельные массивы калиевых гранитов часто определяют расположение гидротермальных месторождений в рудных узлах, а местоположение отдельных месторождений и многие черты их геологического строения находятся в зависимости от расположения и строения массивов аплитовидных и аляскитовидных гранитов.

Очень важным при специализированном картировании является установление времени развития уранового оруденения. Наблюдения показывают, что пегматоидный тип уранового оруденения, месторождения урана, связанные с развитием альбититов в гнейсах и гранитоидах, а также месторождения урана в железистых кварцитах формировались в конце интрузивно-ультраметаморфического цикла, будучи по времени оторванными от процессов регионального метаморфизма.

При геологическом картировании докембрийских образований большую роль приобретают геофизические методы и в первую очередь магнитометрия и гравиметрия.

При составлении специализированных крупномасштабных карт в районах развития гранитов и гнейсов необходимо учитывать следующие особенности строения геофизических полей (подробнее см. стр. 224—226).

1. Площади широкого развития микроклиновых гранитов характеризуются спокойными, невыразительными магнитными и гравитационными полями, имеющими преимущественно отрицательную величину. Для крупных массивов микроклиновых гранитов характерен региональный гравитационный минимум. Мозаичное строение магнитного поля характерно для массивов микроклиновых гранитов рапакиви, но в отличие от обычных разновидностей гранитов к этим массивам приурочен региональный гравитационный максимум и повышение интенсивности

магнитного поля, что следует связывать с большей ролью среди них пород основного состава.

2. Площадям преимущественного развития биотитовых парагнейсов отвечают сложные магнитные и гравитационные поля. Магнитное поле характеризуется мозаично-линейным распределением мелких магнитных аномалий, позволяющим говорить о преимущественных простираниях гнейсовых толщ, хотя выделение отдельных горизонтов по физическим свойствам, как правило, затруднено. Интерпретация гравитационного поля позволяет выделить среди гнейсов мелкие брахиантиклинальные куполовидные структуры, характеризующиеся, в связи с развитием в их ядерной части гранитоидных пород, пониженной плотностью.

3. Пироксеновые гнейсы и амфиболиты, характерные для площадей развития урановой минерализации пегматоидного типа, отличаются повышенной магнитной восприимчивостью и хорошо фиксируются среди гранитоидных пород и биотитовых гнейсов положительными магнитными аномалиями.

4. Узкие, но интенсивные четко линейные магнитные аномалии, нередко сопровождаемые небольшими линейными гравитационными аномалиями, обычно отвечают молодым дайкам или поясам даек основного состава, фиксирующим длительно живущие протяженные тектонические зоны.

5. Тектонические зоны с широким развитием милонитов и брекчий обычно хорошо фиксируются электропрофилированием. Тела микроклин-альбитовых пород, а нередко и связанных с ними рудоносных альбититов часто фиксируются точными магнитометрическими работами в связи с несколько повышенной или пониженной магнитной восприимчивостью щелочных метасоматитов по сравнению с окружающими их гранитоидными породами.

При геологическом картировании на площадях возможного распространения месторождений урана настурано-ненадквевитовой и уранинитовой формаций среди гнейсов гранито-гнейсов нужно учитывать следующее:

1. Детальное геологическое картирование должно быть сосредоточено в периферических зонах крупных массивов микроклиновых гранитов и в пределах брахиантиклинальных куполовидных структур среди гнейсов. При этом особенно тщательному изучению подлежат гранитоиды, брекчии, бластокатаклазиты, бластомилониты, катаклазиты, милониты и измененные породы. Учитывая неравномерное и прихотливое распределение урановой минерализации среди альбититов, нельзя рассматривать отсутствие минерализации в обнажениях как отрицательный признак. Нередко под безрудными альбититами устанавливаются ураноносные рудные тела. Поэтому окончательная оценка альбитизированных пород, расположенных в пределах крупных тектонических зон с интенсивно проявленными метасоматическими преобразованиями, возможна лишь после проверки их ураноносности буровыми скважинами на глубине.

2. Особое внимание должно быть уделено местам пересечения глубинных тектонических нарушений разных направлений, где возникали более благоприятные условия для развития метасоматических процессов.

3. Необходимо фиксировать на карте ореолы гидротермальных изменений, сопровождающие тела альбит-микроклиновых пород и альбититов. Это площадная хлоритизация цветных минералов в гранитоидных породах и гнейсах и общее покраснение пород, распространяющиеся на сотни метров в стороны от тел альбититов и альбит-микроклиновых пород.

При составлении специализированных крупномасштабных карт в районах развития докембрийских железистых кварцитов необходимо

дополнительно учитывать ряд специфических особенностей этих образований.

Толщи железистых кварцитов, благодаря наличию больших количеств магнетита, обладают магнитными полями высокой напряженности. Поэтому при составлении кондиционных специализированных карт изучения геологического строения участков, сложенных железистыми кварцитами, следует всегда начинать с тщательного анализа данных магнитометрии. Изучение магнитных полей обычно позволяет выделять площади магнитных максимумов, участки изгибов пластов, наметить зоны разломов.

При выявлении на площадях развития железистых кварцитов гидротермальных метасоматитов последние должны тщательно исследоваться.

Наиболее перспективными в отношении поисков урановой минерализации являются те участки железистых кварцитов, в которых метасоматические процессы имели многофазное развитие. Там, где на эгирициты со спутанно-волокнистым эгирином воздействовали процессы альбитизации или карбонатный метасоматоз, а также распространены богатые гематит-магнетитовые железные руды, выявление промышленных урановых залежей наиболее вероятно. При этом следует учитывать, что ураноносные залежи могут быть слепыми или совершенно незначительных размеров у поверхности.

## УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ ФАНЕРОЗОЯ

(в районах интенсивного проявления позднеорогенного вулканизма)

### ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ СРЕДНЕ- И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫЕ УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ С ТРАХИАНДЕЗИТО- И АНДЕЗИТО-ДИОРИТОВОЙ ВУЛКАНОГЕННО-ИНТРУЗИВНЫМИ ФОРМАЦИЯМИ

Этот тип урановых месторождений включает три рудные формации, различающиеся по минералого-геохимическим особенностям, характеру рудовмещающих пород и рудоконтролирующих структур, а также по морфологии рудных тел (см. табл. 1). По положению же в региональных геологических структурах, времени образования в процессе развития и формирования складчатых и складчато-блоковых структур, по пространственной связи с определенной ассоциацией магматических пород, а также по генетическим особенностям эти рудные формации близки. Образование урановых месторождений данного типа относится к началу позднеорогенной стадии развития подвижных поясов (например, в каледонских — к девону, в герцинских — к перми). Они размещаются в неоднородных, контрастных по строению складчато-блоковых областях с интенсивно проявленным эффузивным и интрузивным магматизмом после главных фаз складчатости (см. прилож. 2).

Магматические породы раннего периода позднеорогенной стадии, с которыми связаны пространственно и парагенетически урановые месторождения, представлены различными разновидностями среднего и в небольшой части кислого состава обычно с несколько или заметно повышенной щелочностью натриевого или калиевого ряда. Они объединяются в трахиандезито-диоритовую и андезит-диоритовую вулканогенно-интрузивные формации. Общей характерной особенностью этих формаций является тесная сопряженность вулканогенных и интрузивных (близповерхностных) образований. Их размещение в геологических структурах контролируется крупными системами долгоживущих

разломов нередко глубокого заложения, вдоль которых или на их пересечениях размещаются вулканические аппараты, различающиеся по размерам, длительности развития и сложности строения, а также близ-поверхностные интрузии диоритового и монцонитового состава или протяженные пояса относительно разновозрастных даек (габбро-диабазы, диабазы, диоритовые порфириды, плагиопорфиры и др.).

Размещение урановых месторождений рассматриваемого типа контролируется совокупностью геологических факторов: разрывными нарушениями, наличием магматических пород, близких по времени образования, но предшествующих процессам рудообразования, литологическим составом и физико-механическими свойствами рудовмещающих пород.

Коротко охарактеризуем геологические особенности размещения месторождений выделенных рудных формаций.

**Настурановая формация с небольшим количеством сульфидов.** Районы месторождений сложены преимущественно терригенными флишеподобными отложениями позднегеосинклинальной стадии развития подвижного пояса, в различной степени, но чаще сильно дислоцированными. Среди них локально распространены более молодые по возрасту андезитовые порфириды и их туфы, реже трахиты натриевого ряда, субвулканические интрузии диоритового ряда, гипабиссальные интрузии диоритов, монцонитов, сиенит-порфиридов, а также пояса даек различного состава с преобладанием среди них диоритовых порфиридов и плагиопорфиридов. Все эти породы входят в состав единой вулканогенно-интрузивной андезито-диоритовой формации, образовавшейся в позднеорогенную стадию развития.

На размытой поверхности всех указанных выше осадочных, вулканогенных и интрузивных пород залегают континентальные грубообломочные красноцветные (молассоидные) отложения, слагающие позднеорогенные грабен-синклинали.

Одно из изученных урановых месторождений (см. прилож. 2) тяготеет к сложной системе разломов, прослеживающихся в толще переслаивания ордовикских конгломератов, песчаников, алевролитов, аргиллитов и залегающих на них с размывом и угловым несогласием красноцветных конгломератов и песчаников девонского возраста. Ордовикские отложения смяты в районе месторождения в крупную антиклинальную складку с относительно пологим западным крылом ( $10-45^\circ$ ) и более крутым восточным ( $40-60^\circ$ ), а девонскими отложениями образована грабен-синклиналь с углами падения пород на крыльях до  $15-30^\circ$ .

К сложной системе разломов, прослеживающейся вдоль западного крыла указанной антиклинали, приурочен пояс многочисленных крутопадающих даек преимущественно диоритового состава (микродиориты, порфиридовидные диориты, диоритовые порфириды, лампрофиры и др.). Дайки контролируются крутопадающими разломами нескольких направлений. Кроме того, имеются пологопадающие дайки, близсогласные с напластованием вмещающих пород ордовика. Приблизительно в центральной части дайкового пояса под красноцветными отложениями располагается небольшой массив сиенито-диоритов. Среди девонских отложений изредка встречаются дайки габбро и габбро-диабаз, ориентированные, как правило, вкрест простирания дайкового пояса, прослеживающегося в породах ордовика. Дайковый пояс, контролируемый разломами, находится в 4—5 км от крупного и сложного по своему строению палеовулкана, сложенного андезитовыми порфиридами, дацитовыми и трахидацитовыми порфирами, их эксплозивными брекчиями, кластолавами, лавобрекчиями и туфами. Вблизи вулканического аппарата, в зонах разрывных нарушений, также развиты многочисленные дайки пород существенно диоритового состава и отме-

чаются проявления урановой минерализации, еще недостаточно изученные.

Урановое оруденение на месторождении прослеживается, в сущности, почти на всем протяжении дайкового пояса и размещается главным образом среди ордовикских отложений. Наиболее значительные его скопления устанавливаются на отдельных участках пояса и связаны с несколькими пологопадающими разломами, в основном близогласными с напластованием осадочных пород, располагающимися обычно на границах горизонтов осадочных пород различного литологического состава. Эти разломы, выраженные зонами брекчий, интенсивной трещиноватости и перетирания пород, косо пересекают крутопадающие дайки (пучки даек), т. е. являются последайковыми.

Наиболее богатые руды локализуются на участках пересечения разломами даек, размещающихся в пачке частого переслаивания осадочных пород различного гранулометрического состава (преимущественно среднеобломочного и мелкообломочного). В осадочных породах оруденение проявляется в более ослабленной форме или совсем затухает. В связи с этим устанавливается неравномерность в распределении оруденения и очень сложная морфология рудных тел.

Главным рудным минералом является настуран (жилы, прожилки, вкрапленность) в ассоциации с относительно небольшим количеством сульфидов (галенит, пирит, реже халькопирит, марказит, очень редко молибденит). Из жильных минералов наиболее характерен анкерит, являющийся цементом в брекчиях и образующий прожилки. Кроме анкерита, присутствуют кальцит, опаловидный кварц, хлорит, серицит и гидрослюды.

Урановое оруденение локализуется не только в пологопадающих разломах, но и в крутопадающих разломах и трещинах скалывания.

Околорудные гидротермальные изменения во вмещающих породах ордовика выражены достаточно интенсивно и заключаются в альбитизации, хлоритизации, серицитизации, карбонатизации (анкерит, кальцит) и окремнении.

Урановое оруденение установлено также среди красноцветных отложений девона, где оно тяготеет к сложной системе разломов, прослеживающихся и в породах ордовика, но размещается в зонах близослойных срывов среди осветленных песчаников. В целом же минералогическо-геохимические особенности руд, характер распределения уранового оруденения и гидротермально-метасоматические изменения рудовмещающих пород близки к таковым в отложениях ордовика.

Другие месторождения и рудопроявления урана рассматриваемой формации иногда приурочены к зонам разрывных нарушений в эндоконтактах диоритовых и монзонитовых гипабиссальных интрузий или к зонам дробления, брекчирования и трещиноватости в лавобрекчиях и кластолавах преимущественно андезитовых и трахиандезитовых порфиритов, слагающих субвулканические интрузии (тела) сложной в плане и в разрезе формы. Образование зон разломов и уранового оруденения в них является более поздним по сравнению с указанными магматическими породами.

Руды из месторождений урана этой формации являются контрастными и на отдельных участках — богатыми.

В приповерхностной части месторождений устанавливается вынос урана, а также практическое отсутствие зоны окисления. На поверхности отмечается лишь относительно слабо проявленная гамма-активность за счет сорбции урана глинистыми продуктами. Эти гамма-аномалии относительно плохо фиксируются при аэрометрической съемке и несколько лучше при наземной (шпуровой).

**Молибденито-настурановая формация (с цирконием).** Месторождения этой урановорудной формации известны также в пределах поздней-

орогенных каледонских и герцинских структур, в пространственной связи с разнообразными по составу и условиям образования породами трахиандезито-диоритовой (андезито-дацитовой) вулканогенно-интрузивной формации. Они приурочены к системам глубинных разломов среди интенсивно дислоцированных пород, сформировавшихся в геосинклинальный период развития подвижного пояса. Разломы чаще располагаются вблизи границ жестких, более древних блоков земной коры.

Наиболее значительные концентрации молибденито-настурановых руд локализуются в узлах сопряжения различно ориентированных разломов при наличии пород трахиандезито-диоритовой вулканогенно-интрузивной формации начала позднеорогенной стадии развития земной коры. Приуроченность месторождений к узлам сопряжения различно направленных разломов не является, однако, общим правилом; некоторые месторождения размещаются на отдельных участках мощных и протяженных линейных разломов, тяготея к очагам многофазного проявления позднеорогенного магматизма (плагипорфиры, дайки диоритового состава). Главнейшие разломы выражены интенсивным дроблением и брекчированием вулканогенных и осадочных пород, в том числе и пород трахиандезито-диоритовой формации.

Рудовмещающие породы обычно представлены переслаивающимися литокластическими, кристаллокластическими и пепловыми туфами с подчиненными горизонтами алевролитов и аргиллитов с линзами известняков и покровами лав порфиритов, а также плагипорфиров и редко кварцевых плагипорфиров.

Урановое оруденение располагается преимущественно в зонах дробления, брекчирования и интенсивной трещиноватости среди переслаивающихся туфов (в основном средне- и мелкообломочных), алевролитов и песчаников. Менее благоприятными породами для локализации уранового оруденения являются эффузивы основного состава и кварциты.

В связи с проявлением позднеорогенного магматизма (лавы и лавобрекчии андезитового и трахитового состава, субвулканические и гипабиссальные малые интрузии) и главным образом позднемагматических газово-водных процессов, очень характерно проявление натриевого метасоматоза, выраженного в альбитизации различных пород и образовании метасоматических тел (линзы, дайкообразные и сложной формы тела альбититов), а также карбонатизации, апатитизации, хлоритизации и реже гематитизации. К участкам сильно измененных гидротермальными процессами пород в зонах дробления и разломов обычно приурочены комплексные молибдено-урановые руды. По типу руды относятся к прожилково-вкрапленным и брекчиевым.

Рудные тела представляют собой столбообразные (круто наклоненные или вертикальные) и линзообразные залежи различных размеров. Границы рудных тел с вмещающими породами, как правило, нерезкие.

Главными компонентами в рудах являются уран и молибден. В зоне первичных руд урансодержащим минералом является настуран, а молибденсодержащими — молибденит и молибдаты урана. В рудах также присутствуют: а) цирконий, содержащийся в метакolloидной разновидности циркона — аршиновите, содержание циркония в рудах от десятых долей процента до нескольких процентов; б) небольшие количества сульфидов, в сумме составляющие до 2—3% (галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, марказит, пирит). Из нерудных минералов характерны альбит, анкерит, доломит, кальцит, хлорит, опал и халцедон, гидрослюда, реже встречаются кварц и флюорит. В рудах обычно присутствует апатит (содержание  $P_2O_5$  до нескольких процентов).

Одной из важных особенностей месторождений этой формации, как и настурановой формации, является полное или почти полное отсутствие обычной зоны окисления с развитием силикатов и фосфатов урана.

Более того, в приповерхностных частях месторождений отмечается значительный вынос урана до глубины 5—20 м. Ниже следует зона черниевых руд, глубина распространения которых различна. На поверхности над рудными зонами устанавливается обычно повышенная гамма-активность, связанная с сорбцией урана глинистыми образованиями и гидроокислами железа. Интенсивность гамма-излучения их различная, но обычно не превышает нескольких сотен микрорентген в час.

**Апатито-урановая формация с цирконием и (или) торием.** Месторождения формации размещаются обычно в тех же районах, где и молибдено-урановые месторождения, и локализуются в различных по возрасту и литолого-петрографическому составу породах — известняках, аргиллитах, конгломератах, песчаниках, а также в лавах и туфах среднего, частью кислого и субщелочного состава. Известны проявления апатито-урановой минерализации в гранитоидах и в контактовых роговиках. Наиболее крупные концентрации этих руд устанавливаются в карбонатных породах — известняках, известковистых песчаниках и алевролитах, — хотя промышленные руды известны и в породах иного литологического состава.

Апатито-урановые месторождения пространственно тяготеют к проявлениям той же формации магматических пород (трахиандезито-диоритовой), что и молибдено-урановые месторождения, время формирования которой относится к началу позднеорогенной стадии развития подвижного пояса. Вулканогенные породы в районах распространения апатито-урановых месторождений представлены грубо- и мелкообломочными вулканическими и эксплозивными брекчиями, агломератами, туфами, а также лавобрекчиями, кластолавами и лавами трахитов (натриевого ряда), трахидацитов, трахиандезитов и андезитовых порфиритов с заметно повышенными концентрациями фосфора, содержащегося в апатите. В тесной пространственной связи с вулканогенными породами находятся субвулканические и гипабиссальные малые интрузии, сложенные габбро, диоритами, гранодиоритами, плагиопорфирами, кварцево-биотитовыми плагиопорфирами. Дайковая фация, входящая в состав этой же формации, представлена в основном плагиопорфирами и диоритовыми порфирами, различающимися по особенностям петрографического состава и весьма сходными с аналогичными породами андезито-диоритовой формации. Субвулканические и гипабиссальные интрузии, а также дайки характеризуются повышенными концентрациями фосфора и иногда циркония.

Апатито-урановые месторождения отчетливо контролируются системами протяженных (первые десятки километров) разломов, к которым приурочены упомянутые вулканогенные, интрузивные и дайковые образования трахиандезито-диоритовой (андезито-дацитово-дацитовой) формации.

Район одной из групп апатито-урановых месторождений в структурном отношении характеризуется четко выраженным двухъярусным строением (см. прилож. 2). Нижний, собственно геосинклинальный структурный ярус сложен в разной степени дислоцированными карбонатно-терригенными и вулканогенными породами ордовикского возраста. В ядрах и на крыльях брахиантисинальных и брахисинклинальных складок, образованных этими отложениями, размещаются субвулканические, экструзивные и дайковые тела трахиандезито-диоритовой (андезито-дацитово-дацитовой) вулканогенно-интрузивной позднеорогенной формации. Указанные тела состоят главным образом из лавобрекчий, кластолав и эксплозивных (вулканических) брекчий андезитовых и трахиандезитовых порфиритов и трахидацитовых и дацитовых порфиритов верхнесилурийского — нижнедевонского возраста. Аналогичные вулканогенные породы образуют также покровы, с несогласием и размывом перекрывающие карбонатно-терригенные и вулканогенные отложения карбона. Относящиеся к названной вулканогенно-интрузивной форма-

ции гипабиссальные и субвулканические интрузии габбро, диоритов и плагиогранит-порфиринов, а также дайки различных диоритовых порфиритов и плагиопорфиритов размещаются среди осадочных пород ордовика, а также среди жерловых и покровных образований данной формации.

Интрузивные и жильные породы слагают протяженную и мощную магматическую зону, которая приурочена к разлому, контролирующему размещение апатито-уранового оруденения.

На размытой поверхности всех упомянутых геологических образований несогласно залегают красноцветные молассоидные и отчасти вулканогенно-молассоидные отложения среднего — верхнего девона, представляющие позднеорогенный структурный ярус района. Рудоконтролирующие и рудовмещающие разрывы моложе этих молассоидов.

Таким образом, главными геологическими факторами, контролирующими локализацию апатито-урановых месторождений, являются: а) системы протяженных разломов, б) литологический состав и физико-механические свойства рудовмещающих пород, в) пространственная приуроченность оруденения к участкам развития наиболее сложно дифференцированных пород трахиандезито-диоритовой вулканогенно-интрузивной формации начала позднеорогенной стадии развития подвижного пояса, г) пространственная близость к позднеорогенным грабен-синклиналям, сложенным молассоидами.

Апатито-урановые тела на известных месторождениях размещаются главным образом в зонах разломов среди карбонатно-терригенных отложений собственно геосинклинального структурного яруса. Рудные тела имеют обычно линзообразную или жиллообразную форму и различные размеры.

Они либо близогласны с вмещающими породами, либо секут их, причем первые преобладают, но образуют многочисленные апофизы, пересекающие вмещающие породы. Пространственно связанные с ними дайки плагиопорфиритов и диоритовых порфиритов имеют такие же взаимоотношения с вмещающими породами.

Строение и состав рудных тел не постоянны: руды либо сплошные, либо прожилково-вкрапленные. Сплошные руды представляют собою массивные жиллообразные или сложной формы залежи мелкокристаллического урансодержащего фторapatита двух или трех генераций, имеют нередко брекчиевое строение с обломками рудовмещающих пород или апатитовой руды первой генерации. Апатитовые руды рассекаются мелкими прожилками углеродистого вещества, содержащего окислы урана (настуран или черни).

Во многих апатито-урановых месторождениях, так же как и в молибдено-урановых, отмечаются повышенные или высокие концентрации циркония, связанного с наличием аршиновита (прожилки в апатитовой урансодержащей руде). В отдельных месторождениях цирконий содержится в низких концентрациях или практически отсутствует. В этих случаях в рудах устанавливаются заметно повышенные концентрации тория. Основное количество урана в рудах связано с мелкокристаллическим фторapatитом. Количество  $P_2O_5$  в них высокое (от 15 до 32%). В рудах отмечаются, кроме указанных главных элементов, повышенные содержания стронция и редких земель иттриевой группы. В небольшом количестве в рудах присутствуют сульфиды (пирит, иногда галенит, марказит и арсенопирит).

Кроме сплошных руд, сравнительно широко распространены прожилково-вкрапленные руды с более низкими концентрациями урана и фосфора; они встречаются как в карбонатных породах, так и в породах другого литологического состава (в туфах и нормальных осадочных породах). Так как главным урансодержащим минералом в них

является фторapatит с низким содержанием в нем урана, то эти руды обычно бедные. Границы прожилково-вкрапленных руд нечеткие.

Околорудные изменения во всех типах руд выражаются в окварцевании, интенсивной альбитизации (особенно в туфах и осадочных породах, менее в известняках), хлоритизации, широко развитии гидрослюд (особенно в обломочных породах), серицитизации. Известняки, вмещающие апатито-урановые руды, перекристаллизованы, причем ореол перекристаллизации довольно широкий. Отмечается доломитизация.

Необходимо отметить, что по вопросу о генезисе апатито-урановых месторождений в первый период их изучения одновременно с гипотезой о гидротермальном происхождении было высказано представление об осадочном и затем вулканогенно-осадочном их генезисе. Однако последующие работы позволили получить убедительные фактические данные о гидротермальном их происхождении.

Кратко охарактеризованные рудные формации, связанные с андезит-диоритовой и трахиандезито-диоритовой вулканогенно-интрузивными формациями начала позднеорогенной стадии развития, как представляется, свойственны не только областям каледонской и герцинской складчатости, где они преимущественно выявлены, но могут быть найдены в сходных геологических обстановках и в пределах складчатых областей другого возраста, как более древнего — байкальского, так и более молодого — мезозойского.

Геологическими критериями и поисковыми признаками урановых месторождений в районах проявлений трахиандезито-диоритовой (андезито-дацитовой) позднеорогенной формации являются:

1. Складчато-блоковые структуры, примыкающие к долгоживущим региональным разломам первого порядка, протяженностью в несколько десятков и даже первые сотни километров.

Эти структуры характеризуются интенсивным развитием сопряженных с региональными разломами дизъюнктивных дислокаций более высоких порядков и наличием вулканогенно-интрузивных и интрузивных проявлений трахиандезито-диоритовой (андезито-дацитовой) формации позднеорогенной стадии развития подвижного пояса. Рассматриваемые структуры тяготеют либо к центральным частям позднегеосинклинальных прогибов, либо к областям сочленения последних с жесткими (стабилизированными к моменту рудоотложения) тектоническими блоками, сложенными более древними, нередко метаморфизованными геологическими образованиями. В условиях современного эрозийного среза такие складчато-блоковые (в том числе и вулканотектонические) структуры сохранились вблизи грабен-синклиналей, выполненных красноцветными (молассоидными) отложениями.

2. Системы мощных разломов второго и более высоких порядков (протяженностью в десятки километров) сбросо- и взбросо-сдвигового характера и узлы их пересечений и разветвлений. К таким разломам в районах распространения трахиандезито-диоритовой (андезито-дацитовой) формации нередко приурочены многочисленные и относительно разновозрастные штоки и дайки преимущественно диоритовых и диабазовых порфиритов и плагиопорфиров. В позднеорогенную стадию эти системы разломов подновлялись неоднократно как в период магматической деятельности, и в частности, во время формирования малых интрузий и даек, так и особенно в периоды постмагматической гидротермальной деятельности, рудообразования и послерудный.

3. Трахиандезито-диоритовая (андезито-дацитовая) формация позднеорогенной стадии развития подвижного пояса, характеризующаяся в районах размещения урановых месторождений длительностью (многофазностью) и сложностью форм проявления магматизма. По геологическому положению, условиям и относительному времени образования в ее составе выделяются три главные фациальные группы пород:

а) наиболее ранние по времени возникновения породы жерловых, субвулканических, экструзивных и отчасти покровных фаций. Они представлены лавами, лавобрекчиями, вулканическими (эксплозивными) брекчиями и туфами диабазового, андезитового, трахиандезитового, дацитового и реже липаритового состава. Ими образованы тела крупных размеров и сложной конфигурации (в плане и в разрезе);

б) более поздние, чем породы предыдущей группы, гипабиссальные и субвулканические интрузии (главным образом штоки) габбро, диоритов и гранодиоритов;

в) субвулканические интрузии и дайки диоритовых порфиритов, гранодиорит-порфиров, плагиогранит-порфиров и плагиопорфиров, прорывающие образования первых двух фациальных групп. Эти интрузии и дайки являются дорудными, но по времени формирования наиболее близкими к процессам рудообразования.

Внутри указанных групп пород наиболее поздние магматические породы характеризуются более кислым составом, несколько повышенной щелочностью (с преобладанием Na над K) и заметным увеличением содержания летучих компонентов (P, F, Cl и др.).

Малые интрузии и дайки и, что особенно важно, рудоконтролирующие и рудовмещающие разломы, а также урановые месторождения размещаются в краевых частях крупных субвулканических и экструзивных тел, сложенных породами первой фациальной группы.

Особенности проявления трахиандезито-диоритовой (андезито-дацитовой) позднеорогенной формации свидетельствуют о важной роли ее пород в формировании рудоносных геологических структур.

4. Сложно дифференцированные магнитные поля и более или менее однородные гамма-поля, характерные для участков с неоднородным (гетерогенным) глубинным строением и соответствующие упомянутым складчато-блоковым структурам. Неоднородность магнитного поля этих участков и структур в значительной мере обусловлена сочетанием слабомагнитных терригенно-карбонатных отложений и высокомагнитных разновозрастных магматических пород пестрого петрографического состава и сложных по формам проявления.

Слабая дифференцированность гамма-поля объясняется более или менее одинаковым первичным распределением радиоактивных элементов (Ra, Th, K) в различных горных породах. Дифференцированные гамма-поля возникают лишь в зонах повышенной проницаемости под влиянием процессов перераспределения радиоактивных элементов в результате длительной магматической и гидротермальной деятельности или процессов в зоне гипергенеза.

5. Благоприятные структурные и литолого-петрографические особенности рудовмещающих пород, предопределяющие не только степень концентрации и масштабы уранового оруденения, но и морфологию и размеры отдельных рудных тел. Урановое оруденение в районах распространения трахиандезито-диоритовой (андезито-дацитовой) формации размещается в замковых частях или на крыльях сложных и простых антиклиналей второго, третьего и более высоких порядков, которые сложены породами геосинклинального структурного яруса. Наиболее благоприятными для локализации месторождений молибденито-настурановой формации являются толщи тонко переслаивающихся вулканогенно-терригенных и нормальных осадочных пород (песчаники, алевролиты, аргиллиты, туфы, лавы), а для апатито-урановой формации — карбонатно-терригенные и особенно карбонатные отложения (различные типы известняков, известковистые аргиллиты, алевролиты и песчаники). Значительные по размерам урановорудные тела приурочены к узлам пересечения разно ориентированных разломов или к зонам межпластовых (остросекущих близсогласных) разрывных нарушений среди нередко выдержанных по простиранию и падению слоистых серий ука-

занных геологических образований. Как правило, именно такие участки разреза отличаются насыщенностью позднеорогенными малыми интрузиями и дайками пород среднего и умереннокислого состава. Последние при внедрении в зоны близогласных нарушений повышали механическую неоднородность толщ тонкого переслаивания и тем самым способствовали дальнейшему развитию зон разрывов, брекчирования и трещиноватости, в которых позже происходило рудоотложение.

6. Наличие гидротермальных изменений осадочных и магматических пород вблизи систем разломов, выражающихся в альбитизации, карбонатизации (особенно анкеритизации и доломитизации), хлоритизации и развитии гидрослюд. Иногда характерны гематитизация и относительно слабое окварцевание. Для карбонатных отложений весьма характерна перекристаллизация.

Оруденение практически всегда располагается во внутренних зонах ореолов гидротермально измененных пород и является, как правило, более поздним, чем сами ореолы. При поисках бурением гидротермально измененные породы могут быть обнаружены в первую очередь вследствие того, что они проявлены более широко по сравнению с рудными телами.

7. Наличие повышенной гамма-активности, иногда очень слабой на поверхности, с превышением фона всего в два-три раза. При этом повышенные содержания урана в зонах разломов среди гидротермально измененных красноцветных (молассоидных) отложений могут служить дополнительным признаком наличия оруденения как в них, так и в подстилающих их более древних образованиях.

8. Присутствие вблизи зон разломов в коренных породах различного состава и в зонах их гидротермального изменения, а также в рыхлых отложениях и водах повышенных концентраций урана и таких элементов, как P, Zr, TR, Th, Sr, Mo, As и др., в количествах, превышающих их фоновые значения в два-три и более раз. Наряду с высоким содержанием этих элементов показателем перспективности того или иного участка является пониженное торий-урановое отношение в породах, особенно в дайках диоритовых и диабазовых порфиритов и плагиопорфиров, а также значительно более высокая неоднородность в содержании элементов по сравнению с их первичным распределением.

Как правило, привнос урана и элементов-спутников в различных породах проявляется по-разному. В терригенных и осадочно-вулканогенных образованиях, а также в интрузивных, в том числе и в жильных породах интенсивно выражен привнос F, Zr, TR (для апатито-урановых месторождений), и иногда As (для собственно настурановых и молибденито-настурановых месторождений). В гидротермально измененных известняках отмечаются резко повышенные концентрации F, Sr, Th, иногда Zr, Ti, а в красноцветных песчаниках и аргиллитах U, Th, Zr, иногда TR. Наиболее важным поисковым признаком является наличие «сквозных» зон привноса элементов, приуроченных к участкам повышенной проницаемости и проявленных в различных породах.

Особенно большое значение могут иметь ореолы элементов-спутников в сочетании с повышенными концентрациями урана, даже небольшими, в коренных породах, рыхлых отложениях и водах.

9. Повышенные содержания в породах вблизи разломов радиогенного свинца.

10. Проявление гелиевых аномалий в сочетании с другими благоприятными геологическими факторами.

11. Наличие в районах распространения трахиандезито-диоритовой и андезито-диоритовой формаций других месторождений и рудопроявлений позднеорогенной стадии развития (Au, Sb, As, Pb, Cu и др.), которые могут служить косвенным благоприятным признаком при оценке перспектив ураноносности выбираемых под поиски площадей.

**ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ СРЕДНЕ- И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ  
БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫЕ УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ С ДЕВОНСКИМИ  
АНДЕЗИТО-ЛИПАРИТОВОЙ, ЛИПАРИТОВОЙ И ЛИПАРИТО-ГРАНИТОВОЙ  
ФОРМАЦИЯМИ**

В последние годы выявлены и изучены промышленные урановые и молибдено-урановые месторождения, пространственно и парагенетически связанные с девонскими вулканогенными и вулканогенно-интрузивными формациями: андезитовой, липаритовой и липарито-гранитовой. Образование последних происходило в разновозрастных складчатых областях при относительно близких тектонических режимах. Наиболее благоприятные условия для их формирования возникали в стадию консолидации складчатых структур. Активные процессы вулканизма проявились в девонских позднеорогенных внутренних (на геоантиклинальных поднятиях) и периферических прогибах, а также в пограничных зонах между складчатыми областями различного возраста и по периферии жестких срединных массивов. Заложение прогибов обычно связано с горообразовательными процессами и сопровождалось глыбовыми перемещениями по системам глубинных разломов. Вулканическая деятельность в эти периоды протекала, как правило, в континентальных условиях.

В позднеорогенных прогибах одновременно с проявлением суб-аэрального вулканизма обычно происходило накопление красноцветных и пестроцветных континентальных или наземно-пресноводных отложений. На отдельных участках отмечается фациальная смена вулканогенных образований осадочными породами или их переслаивание. Осадочные породы также отлагались в локальных впадинах после прекращения вулканической деятельности (позднеорогенные наложенные мульды).

Магматические, а также осадочные породы, входящие в состав андезитовой, липаритовой и липарито-гранитовой формаций, образуют верхний относительно пологоскладчатый структурный ярус, размещающийся на интенсивно дислоцированных и глубоко эродированных более древних ордовикских отложениях (периода собственно геосинклинального развития, иногда и на более древнем основании), прорванных различными по составу интрузиями.

Молибдено-урановые и урановые месторождения и рудопроявления, парагенетически связанные с различными фациями липаритовой и липарито-гранитовой формаций, размещаются в пределах распространения пород этих формаций, т. е. в верхнем структурном ярусе. Они локализируются также в мощных разломах нижнего структурного яруса и связаны с корневой системой палеовулканов. Для большинства молибдено-урановых и урановых месторождений характерна приуроченность их к палеовулканам центрального или линейного типов первого и особенно второго порядка.

Детальное изучение геологии районов урановых месторождений на основе крупномасштабного специализированного геологического картирования позволило выявить особенности в размещении урановых месторождений (см. прилож. 3 и 4).

***Урановые месторождения в верхнем позднеорогенном  
структурном ярусе (D<sub>2</sub>—D<sub>3</sub>)***

**Иордизито-настурановая формация.** Месторождения этой формации размещаются в различных типах тектоно-вулканических структур.

*Месторождения урана в кольцевых и дугообразных разломах по периферии палеокальдер.* Палеовулканы центрального типа первого по-

рядка в позднеорогенных складчато-блоковых структурах контролируются глубинными разломами, которые прослеживаются в нижнем структурном ярусе, где они выражены мощными зонами дробления и перетирания пород. Позднее системы разломов подновлялись неоднократно. В верхнем структурном ярусе, в породах липаритовой формации, чаще наблюдаются сложноразветвленные разрывы, которые являются продолжением глубинных зон разломов нижнего яруса. Обычно они залечены разновозрастными магматическими образованиями: дайками, субвулканическими и гипабиссальными интрузиями.

Стратовулкан первого порядка одного из изученных районов размещается в центральной части синклиальной тектоно-вулканической структуры проседания (палеокальдеры), образование которой произошло в результате сопряженных тектонических и магматических процессов. В центральной части (размером  $15 \times 17$  км) размещается экструзия кварцевых порфиров, гранит-порфиров с обрамляющими ее игнимбритами и туфами кварцевых порфиров. Палеокальдера окружена прерывистым кольцом лав и туфолав фельзитовых и кварцевых порфиров, покровов пепловых туфов, игнимбритов и значительно реже андезитовых и андезито-базальтовых порфиритов и горизонтов пестроцветных песчаников, образовавшихся на различных стадиях вулканической деятельности.

Вулканогенные и осадочные породы, обрамляющие палеокальдеру, имеют всюду падение к центру под углами от  $15$  до  $35^\circ$  и более крутыми углами в зонах разломов. В целом эта изометрическая структура диаметром  $35-40$  км осложнена дугообразными и радиальными разломами, контролирующими размещение латеральных вулканов, субвулканических интрузий и дайковых поясов. Главные кольцевые разломы круто падают в сторону палеокальдеры. В целом, тектоно-вулканическая структура имеет ступенчатое, блоковое, воронкообразное строение с крутым падением к юго-западу подводящего канала палеовулкана.

К этим же системам кольцевых разломов приурочены ореолы гидротермально измененных пород по типу березитов. Урановое оруденение размещается во внутренних (серицито-кварцевых) зонах ореола, в жерлах латеральных вулканов, образовавшихся по периферии палеокальдеры в узлах пересечения кольцевых разломов с разломами северо-восточного направления. В околорудных гидротермально измененных породах отмечается вынос натрия и привнос калия.

В жерлах латеральных вулканов рудные тела контролируются зонами наибольшей проницаемости, которые часто совпадают с полями развития эксплозивных брекчий или их контактами с липаритовыми порфирами. Формирование предрудных зон повышенной проницаемости, по-видимому, происходило в конечные стадии вулканической деятельности, при спаде давления в магматическом очаге. Глубоко идущие каналы трещиноватости служили в течение долгого времени путями для подъема эндогенных эманаций, связанных с деятельностью того же магматического очага, но проявившихся после завершения наземного вулканизма.

Рудные тела размещаются внутри латеральных вулканов в центральных или в эндоконтактных их частях. Падение рудных тел крутое либо пологое. Последнее более характерно для верхней части жерл. Незначительная часть рудных тел выходит за пределы латеральных вулканов во вмещающие их лавовые потоки липаритовых порфиров. Форма рудных тел очень сложная, чаще линзовидная, столбообразная, неправильная, гнездовая. Границы рудных тел, как правило, нечеткие; рудные тела имеют постепенные переходы к нерудным гидротермально измененным породам.

Минеральные ассоциации в рудах иордизито-настурановой формации свидетельствуют о том, что рудообразование происходило при низких температурах. По времени образования урановое оруденение относится к стадии завершения вулканизма. Руды прожилково-вкрапленные и вкрапленные, комплексные (молибдено-урановые). Настуран находится обычно в ассоциации с иордизитом и пиритом. Из других рудных минералов присутствуют в незначительных количествах галенит, сфалерит, халькопирит, марказит, арсенопирит, молибденит, гематит и др. Из нерудных минералов характерными являются гидрослюды, кварц, халцедон, кальцит, сидерит, анкерит, альбит, хлорит, серицит и иногда каолинит.

В приповерхностной части месторождений развита зона окисления от 20 до 40 м. Граница между зоной окисления и первичными рудами нечеткая.

В урановых рудах в качестве элементов-спутников присутствуют Mo, Pb, As, Tl, Zn, Cu, Ag, Sr, Sn, Sc, Zr, Ce, Y, Yb и иногда Hg, Sb. Наиболее характерными из них являются Mo, Pb, As, Tl, Y.

*Месторождения урана в палеовулканах линейного типа.* Одно из месторождений урана приурочено к палеовулкану линейного типа первого порядка, который размещается в зоне разломов длительного развития среди осадочно-вулканогенных образований девонского возраста, относящихся к верхнему структурному ярусу.

Вулканический аппарат дугообразно изогнут, круто наклонен к юго-западу согласно с простираем и падением зоны разломов, характеризуется сложным строением. Периферические части некка сложены крупнообломочными, местами глыбовыми туфолами и взрывными брекчиями фельзитовых порфиров, которые по направлению к центральной части переходят в мелко- и тонкообломочные туфолавы, а затем во флюидальные и местами массивные фельзитовые порфиры. Контакты с вмещающими пестроцветными песчаниками очень сложные, рвущие, с мелкими апофизами фельзитовых порфиров или местами тектонические.

В центральной части некка проявилось предрудное брекчирование и гидротермальное изменение вмещающих пород. Тела брекчиевых пород имеют столбообразную ветвящуюся, линзовидную и неправильную формы и сложены обломками фельзитов, цементированных фельзитом и низкотемпературным халцедоновидным кварцем с тем или иным количеством гидрослюды, карбоната и турмалина. Взрывные брекчии образовались, по-видимому, в результате струйчатого проникновения в породы жерловой фации газов и растворов на последних стадиях вулканической и поствулканической гидротермальной деятельности. Гидротермальное изменение пород выразилось в беризитизации.

Рудная зона, состоящая из большого количества мелких тел, приурочена к центральной части некка; в целом она имеет падение к юго-западу и ограничивается на северо-западе разломом, «залеченным» кварцем, а на юго-востоке дайковым поясом диоритовых порфиритов. Рудные тела по форме приближаются к линзовидным и столбообразным залежам. Руды — прожилковые и прожилково-вкрапленные.

К числу главных рудных минералов в первичных рудах относятся настуран и молибденит. Второстепенные: арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, блеклая руда, халькопирит, гематит, магнетит, марказит и борнит. Нерудные минералы представлены кварцем, халцедоновидным кварцем, хлоритом, серицитом, кальцитом, каолинитом, флюоритом и хлоритом.

Руды комплексные — молибдено-урановые. Зона окисления проявлена интенсивно, с развитием арсенатов и силикатов урана.

Из элементов-спутников в рудах присутствуют Mo, Pb, As, Sb, Zn, Cu, Sr, Sn, Zr, Tl, Sc, Ce, Y, Yb. Из них наиболее характерными являются Mo, Pb, As, иногда Sb и Tl.

*Урановое оруденение в купольных тектоно-вулканических структурах.* Месторождения расположены в породах андезито-липаритовой формации (в верхнем структурном ярусе). Центральная часть купольной тектоно-вулканической структуры одного из районов сложена кварцевыми порфирами, туфолавами и вулканическими брекчиями кварцевых порфиров. В плане на современном эрозионном срезе экструзия кварцевых порфиров имеет сложные изогнутые контуры (7×3 км). Северо-восточный контакт экструзии с вмещающими породами крутой, а юго-западный — пологий.

В обрамлении кварцевых порфиров распространены переслаивающиеся осадочно-вулканогенные образования, представленные порфиритами и туфами, песчаниками и конгломератами, образующими брахиантиклинальную структуру. Среди этих пород по периферии экструзии кварцевых порфиров прослеживаются системы разломов, к которым приурочены относительно пологопадающие пластообразные и частью крутопадающие тела гидротермально измененных фельзитов, пепловых туфов и других пород липаритового состава. К этим же разломам и оперяющим трещинам разрывов приурочены также дайки диоритовых порфиритов.

Рудные тела линзовидной формы контролируются зонами дробления в гидротермально измененных фельзитах и туфах (серицитизированных, каолинизированных и гидрослюдизированных), расположенных по периферии палеовулкана.

Урановая минерализация выражена настураном, который сопровождается сравнительно небольшим количеством сульфидов (пирит, а в некоторых рудных телах также молибденит). Элементами-спутниками являются свинец, молибден, мышьяк, иногда таллий, сурьма и серебро.

Зона окисления проявлена слабо. В приповерхностной части устанавливается вынос урана.

**Карбонатно-настурановая формация.** Месторождения карбонатно-настурановой формации известны в верхнепалеозойских позднеорогенных структурах.

Один из районов с месторождениями указанной формации характеризуется двухъярусным строением. Нижний структурный ярус сложен дислоцированными осадочными и вулканогенными (основного и среднего состава) породами каменноугольного возраста, которые прорваны гранитами. В строении верхнего структурного яруса принимают участие фельзиты, игнимбриты, туфолавы и дациты пермского возраста. Среди этих пород по разломам прослеживаются дайки лампрофиров.

Рудовмещающими породами являются на одних месторождениях дациты, а на других фельзиты. Наличие уранового оруденения отмечается также в разломах среди пород нижнего структурного яруса. Рудные тела контролируются пологими зонами дробления и брекчирования (в верхнем структурном ярусе) или крутопадающими разломами (в верхнем и нижнем структурных ярусах). Урановое оруденение в зонах дробления и разломов распределяется неравномерно и выражено настурановыми и карбонатно-настурановыми прожилками, мелкими гнездообразными скоплениями или линзами настурана.

Изменение вмещающих пород проявилось в карбонатизации, окварцевании и гематитизации.

В другом районе месторождение карбонатно-настурановой формации установлено в синклинальной тектоно-вулканической структуре, ядро которой сложено фельзитовыми порфирами, среди которых прослеживается ряд кулисообразно расположенных зон дробления и даек диа-

базовых и диоритовых порфиритов. Распределение уранового оруденения (в ассоциации с кальцитом) в зонах дробления неравномерное, в форме тонких прожилков или гнезд. Иногда настуран с карбонатом развивается в цементе зон дробления. В рудах присутствуют пирит, халькопирит, галенит, блеклая руда и др. Из элементов-спутников встречается молибден и свинец, зона окисления проявлена слабо, и урановое оруденение в карбонатных прожилках сохраняется на поверхности.

### *Урановые месторождения в нижнем структурном ярусе (в фундаменте)*

**Сульфидно-настурановая формация.** По структурно-геологическим особенностям и составу вмещающих пород эта группа урановых месторождений весьма разнообразна.

Одно из месторождений расположено в каледонских интенсивно складчатых и глубоко эродированных структурах, перекрытых на отдельных участках полого-складчатыми осадочно-вулканогенными отложениями. Месторождение приурочено к мощному крутопадающему разлому северо-западного простирания (падение к северо-востоку) в нижнепалеозойских гранитоидах. Последние интенсивно дроблены и милонитизированы.

В разломе размещается неск фельзитовых и кварцевых порфиров, а также многочисленные согласные и секущие дайки диоритовых и диабазовых порфиритов. Фельзитовые и кварцевые порфиры подверглись дроблению и перетиранию, а также гидротермальному изменению. К одному из блоков главной, северо-западной, зоны и приурочено урановое оруденение. В центральной части этого блока расположено линзовидное тело — неск фельзитовых порфиров, на отдельных участках, особенно у контактов, подвергшееся брекчированию. Главные руды тела расположены в висячем боку тела фельзитовых порфиров, а второстепенные — в лежащем. Форма рудных тел линзовидная с нечеткими границами.

В зоне первичных руд урановая минерализация представлена настураном (реже уранинитом) в ассоциации с сульфидами. Среди последних более распространенным является пирит. В небольших количествах встречаются галенит, сфалерит, халькопирит, молибденит, арсенопирит, нордизит, редко аргентит, магнетит, гематит и кобальтин. Из нерудных минералов широко развиты хлорит, серицит, кварц, халцедоновидный кварц. В меньшем количестве присутствуют анкерит, доломит, пирофиллит, кальцит, барит и флюорит.

Мощность зоны окисления 40—60 м, но на отдельных участках она достигает 80 м и более. В зоне окисления и непосредственно на поверхности развиты фосфаты, силикаты и значительно реже сульфаты урана.

Один из палеовулканов девонского возраста, вмещающий урановое оруденение, приурочен к разлому, сопряженному с системой глубинных региональных разломов среди интенсивно дислоцированных нижнепалеозойских геосинклинальных осадочно-вулканогенных образований, прорванных интрузиями различного состава. Строевание палеовулкана сложное. В нем распространены фельзиты, туфолавы фельзитов и кварцевых порфиров, вулканические брекчии и глыбовые агломераты. Среди перечисленных пород размещается круто наклоненное тело кварцевых порфиров, согласное с падением разлома и вулканитов. Кварцевые порфиры прослежены на 600 м при мощности 50—60 м.

Урановое оруденение приурочено к линейной зоне трещиноватости среди кварцевых порфиров. Рудоносная зона ориентирована согласно с простиранием и падением тела кварцевых порфиров. Последние в пределах зоны трещиноватости рассечены дайками диоритовых порфиритов

и подверглись интенсивному окварцеванию, серицитизации, пиритизации и меньше арсенопиритизации. Околорудные изменения по типу близки к березитизации. Урановое оруденение представлено настураном (мелкие прожилки и вкрапленность), остаточными и регенерированными чернями в ассоциации с пиритом и небольшим количеством других сульфидов (галенит, арсенопирит, молибденит, халькопирит и сфалерит).

Зона окисления проявлена достаточно хорошо и характеризуется интенсивным развитием силикатов, фосфатов и арсенатов урана. Наблюдаются участки с переотложенной вторичной урановой минерализацией за пределами кварцевых порфиров, в глыбовых агломератах. Промышленное урановое оруденение также отмечается в разломах вблизи тела кварцевых порфиров среди терригенных отложений нижнепалеозойского возраста.

Одно из месторождений в породах фундамента размещается в разломах краевой части срединного докембрийского массива, сложенного гнейсами, амфиболитами и кристаллическими сланцами, вблизи девонского палеовулкана. В строении последнего принимают участие кварцевые порфиры, фельзиты, вулканические брекчии, туфолавы кварцевых и фельзитовых порфиров.

На участке месторождения среди докембрийских кварцево-серицитохлоритовых сланцев отмечаются дайки диоритовых и диабазовых порфиритов, а также кварцевых порфиров. Рудные тела имеют линзообразную и гнездообразную форму. Главным урановым минералом является настуран. Из сульфидов наиболее широко распространен пирит, реже галенит, арсенопирит, халькопирит, а также различные титанаты. Нерудные минералы представлены кварцем, серицитом, хлоритом, турмалином и карбонатами. Зона окисления проявлена ярко, с развитием в ее пределах силикатов и фосфатов урана. Глубина зоны окисления до 30—40 м.

Своеобразной разновидностью эруптивных центров, к которым приурочена минерализация, являются трубки взрыва типа «маара» в породах нижнего структурного яруса. Один из изученных верхнедевонских палеовулканов такого типа размещается в терригенных отложениях ордовика. Центральная его часть, имеющая в плане близкую к эллипсоидальной форму, сложена агломератами кварцевых порфиров, среди которых на отдельных участках отмечены глыбовые агломераты. Агломераты кварцевых порфиров центральной части вулкана окружены концентрическими поясами туфолав и игнимбритов кварцевых порфиров. Ширина первого из них около 250 м, а второго — 300—350 м. Во внешнем их контуре прослеживается прерывистое кольцо андезитовых порфиритов. Указанные породы имеют падение в основном к центральной части палеовулкана. Последний рассечен многочисленными разломами двух главных направлений — северо-восточного и меридионального. Гидротермальные изменения наиболее интенсивно проявились в юго-восточной части трубки. Они выразились в окварцевании, альбитизации, гематитизации и хлоритизации. К ореолу измененных пород приурочена урановая минерализация (настуран), распределенная неравномерно в виде вкрапленности и мелких прожилков. Рудные тела имеют гнездообразную и линзообразную форму. С настураном ассоциируют незначительные скопления киновари, гематита, халькопирита, борнита, блеклой руды, сфалерита и гематита. Редко наблюдается флюорит.

Урановые месторождения известны также в пространственной и парагенетической связи с субвулканическими интрузиями в породах как нижнего, так и верхнего структурных ярусов вблизи палеовулканов.

Урановое оруденение приурочено к небольшим по размерам телам кварцевых порфиров, гранит-порфиров, фельзитов, фельзитовых порфи-

ров и дацитов, имеющих в плане округлую, овальную или неправильную форму. В разрезе они столбообразные, грибообразные, чаще вертикальные, крутонаклоненные или пологозалегающие.

Рудные тела локализуются чаще в приконтактных зонах или непосредственно в контакте субвулканических интрузий с химически активными горизонтами вмещающих пород. Реже они отмечаются непосредственно в зонах разломов внутри интрузий.

Главный рудный минерал — настуран в ассоциации с сульфидами (пирит, халькопирит, галенит и гематит). Из нерудных минералов часто присутствуют кварц, карбонат и флюорит.

Заканчивая рассмотрение некоторых примеров локализации урановых месторождений в верхнем и нижнем структурных ярусах, следует обратить внимание на то, что при поисковых работах необходимо учитывать возможность открытия урановых месторождений в слоистых пестроцветных породах, входящих в состав вулканогенных формаций. Можно допустить, что эти вероятные месторождения будут другого морфологического типа, скорее всего, пластообразные рудные тела вблизи рудоподводящих каналов.

### *Геологические критерии и поисковые признаки*

Краткое рассмотрение геологических факторов, влияющих на особенности локализации промышленных гидротермальных урановых месторождений с богатыми и контрастными рудами, пространственно и парагенетически связанных с андезитовой, липаритовой и липарито-гранитовой формациями, позволяет наметить главные геологические критерии и поисковые признаки.

*Региональные геологические критерии и поисковые признаки:*

1. Урановые месторождения размещаются в позднеорогенных зонах с распространением андезитовой, липаритовой и липарито-гранитовой формаций, образование которых происходило при вулканизме в наземных условиях. В геологических структурах эти зоны занимают различное положение:

а) протяженные пограничные палеовулканические пояса между складчатыми системами различного возраста (байкалидами и архейскими структурами, каледонидами и герцинидами, мезозоидами и альпидами). Эти пояса имеют либо линейную, либо дугообразную форму, что зависит от характера границ между складчатыми системами;

б) в обрамлении и в краевых частях срединных массивов складчатых областей различного возраста. В некоторых случаях в позднеорогенные стадии развития складчатой области магматизм и связанное с ним урановое рудообразование проявляются не только в краевых частях срединных массивов, но и по зонам разломов внутри них;

в) в грабен-синклинальных и иных типов прогибах на внутренних геоантиклинальных поднятиях;

г) в поперечных поднятиях краевых прогибов (поднятия обычно сопровождаются разломами);

д) в активизированных структурах более ранней завершенной складчатости по периферии более молодых складчатых систем (например, в каледонских складчато-блоковых эродированных структурах по периферии герцинских складчатых систем).

2. Позднеорогенные поверхностные и приповерхностные магматические образования контролируются длительно развивавшимися глубинными разломами. Последние с системами опережающих разломов неоднократно подновлялись и разветвлялись как в период магматической деятельности, так и особенно на завершающих ее стадиях, т. е. в период постмагматического гидротермального рудообразования. Следовательно, эти сложные системы разломов, активно развивавшиеся и вновь

возникавшие в позднеорогенные стадии, являются одним из важнейших региональных рудоконтролирующих факторов.

3. Существенная роль в локализации уранового оруденения принадлежит магматическому фактору. Промышленные урановые месторождения размещаются чаще на тех участках позднеорогенных или активизированных структур, на которых устанавливается длительность и многофазность (стадийность) проявления различных форм магматических процессов: наземные многофазные излияния лав и выбросы пирокластического материала, образование субвулканических и гипабиссальных интрузий, поясов даек различного состава.

В ряде изученных ураноносных районов намечается закономерно направленная ритмичность в проявлении магматических процессов, отражающаяся в смене состава продуктов магматизма. Начало позднеорогенных магматических процессов характеризуется во многих районах поступлением на поверхность лавовых потоков и туфов и к приповерхностным слоям земной коры (силлы, штоки) образований преимущественно андезитового состава. В последующие ритмы роль последних обычно увеличивается, а для поздних стадий сложного магматического процесса свойственно интенсивное проявление продуктов магматической деятельности почти исключительно кислого состава (нередко с повышенной щелочностью). В конечные, предрудные, стадии магматической деятельности характерно образование даек и штоков преимущественно основного и особенно среднего состава (габбро-диабазы, диабазовые и диоритовые порфириды и др.).

4. Урановое оруденение может быть встречено на различных эрозионных срезках. В ряде районов оно размещается в вулканогенных породах позднеорогенного (верхнего) структурного яруса, преимущественно вблизи крупных вулканических центров, в других — в разломах нижнего структурного яруса (в породах фундамента), вблизи корневой системы древних вулканических аппаратов. Это важное обстоятельство необходимо иметь в виду при оценке перспектив ураноносности и составлении карт прогноза.

5. Одним из важных региональных поисковых признаков является наличие в позднеорогенных структурах дифференцированных гамма-полей, что устанавливается при аэрометрической съемке или в процессе пешеходной и автомобильной гамма-съемок, выполняемых одновременно с геологическим картированием. Образование дифференцированных гамма-полей обязано многим причинам, главнейшими из которых могут являться: а) неравномерное первичное распределение радиоактивных элементов в различных разновидностях пород; б) неравномерное перераспределение радиоактивных элементов, обусловленное привнесом и выносом их при проявлении гидротермальных процессов в повышенно проницаемых зонах.

6. Общий фон рядовой минерализации в позднеорогенных структурах также в некоторых случаях может служить одним из косвенных факторов при оценке перспектив ураноносности. В некоторых ураноносных районах месторождения рядовой минерализации позднеорогенной стадии развития практически отсутствуют. В других же районах характерна с различной интенсивностью проявленная полиметаллическая, медная, висмутовая, флюоритовая, гематитовая и баритовая минерализация, иногда золотая, сурьмяная и мышьяковая.

#### *Локальные геологические критерии и поисковые признаки:*

1. Урановые месторождения всех трех рудных формаций в верхнем позднеорогенном структурном ярусе размещаются в сложных по строению тектоно-вулканических структурах различных типов: а) в кольцевых, дугообразных и линейных зонах разломов, в краевых и периферических частях тектоно-вулканических структур проседания с кальдер-

ной стадией развития; б) в линейных и дугообразных разломах по периферии вулканокупольных структур; в) в жерловых фациях вулканических аппаратов линейного типа; г) в экструзивных куполах; д) в неках; е) в субвулканических интрузиях. При дальнейших исследованиях несомненно будут выявлены и другие типы рудоносных тектоно-вулканических структур.

В нижнем структурном ярусе урановые месторождения локализуются в мощных зонах разломов или в оперяющих разломах или особенно на их сочленениях. Урановое оруденение обычно распространено в разломах локально. Во многих случаях оно встречается в пределах размытых вулканических жерловин среди вулканогенных пород липаритовой формации (в фельзитах, кварцевых порфирах, игнимбритах и др.). Кроме того, оно может локализоваться в разломах, обрамляющих вулканические аппараты, среди пород фундамента, а иногда и в удалении от вулканических центров (при наличии протяженных разломов).

2. На участках почти всех изученных месторождений урана данного типа устанавливаются дайки и небольшие штоки диабазовых и диоритовых порфиритов, пространственно тесно связанные с урановым оруденением.

3. Урановая минерализация часто приурочена к жерловым фациям более поздних латеральных вулканических аппаратов, субвулканическим интрузиям и экструзиям. Она контролируется зонами интенсивной микротрещиноватости или эксплозивных брекчий, которые прослеживаются на значительные глубины. Эксплозивные брекчии состоят из угловатых обломков пород чаще различного состава, сцементированных фельзитом и иногда хальцедоновидным кварцем. Характерна многофазность и струйчатое расположение микробрекчий, которые обусловлены, по-видимому, проникновением и периодическими взрывами газов. Эти длительно развивавшиеся зоны служили подводными каналами для рудоносных растворов.

4. На участках размещения урановых месторождений, в том числе и не выходящих на поверхность, всегда устанавливаются гидротермально измененные породы. В породах липаритовой формации гидротермальное изменение обычно выражается в березитизации, иногда в привносе калия и в выносе натрия. Следовательно, наличие ореола гидротермально измененных пород в сочетании со структурными и магматическими критериями является важным фактором при выделении перспективных участков для поисков месторождений урана, не выходящих на поверхность.

В породах нижнего структурного яруса гидротермальные изменения проявляются более разнообразно, что зависит от состава этих пород. Здесь наиболее характерны хлоритизация, карбонатизация, аргиллизация, окварцевание, наличие темно-фиолетового флюорита.

5. В пределах участков гидротермально измененных пород или вблизи них фиксируются элементы-спутники урана, к числу которых относятся: свинец, молибден, мышьяк, таллий, иногда сурьма и ртуть. Обнаружение первичных и вторичных ореолов этих элементов в ассоциации даже с незначительно повышенными концентрациями урана может служить дополнительным поисковым признаком промышленных урановых месторождений.

6. Наличие в ореолах рассеяния урана и характерных его элементов-спутников повышенных концентраций радиогенного свинца также является важным поисковым признаком.

7. Прямым поисковым признаком при благоприятной геологической обстановке является наличие гамма-аномалий с урановой или смешанной природой активности.

8. Повышенное содержание радона и урана в подземных и поверхностных водах — один из поисковых признаков.

## УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ОБЛАСТЯХ И ЗОНАХ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ

### ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ МЕЗОЗОЙСКОЙ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ШИТОВ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ

Гидротермальное урановое оруденение областей и зон мезозойской тектоно-магматической активизации щитов древних платформ характеризуется рядом отличительных признаков.

Области тектоно-магматической активизации щитов формировались в условиях контрастности тектонических движений, следовавших после длительного периода относительного покоя и сопровождавшихся заложением или оживлением глубинных разломов и магматической деятельностью. Конкретным выражением процессов активизации на докембрийских щитах являются наложенные структуры типа сводовых поднятий и предгорных прогибов, выполненных континентальными отложениями, нередко угленосными.

Эндогенное урановое оруденение локализуется в пределах сводовых поднятий, где оно иногда ассоциирует с магматизмом стадии активизации. Для последнего характерны интрузивные и вулканогенные образования пестрого состава, обычно представленные формацией щелочноземельных и щелочных пород калиевого ряда. Центры проявления магматической деятельности, создавшей интрузии и вулканические тела этой формации, приурочены к местам наибольшей контрастности тектонических движений — в купольно-блоковым структурам, усложняющим сводовые поднятия.

Областям тектоно-магматической активизации щитов, перспективных на урановое оруденение, соответствуют крупные отрицательные гравитационные аномалии и переменное магнитное поле, отражающие характер глубинных процессов, связанных с ультраметаморфизмом и гранитизацией древних толщ и их метасоматическими преобразованиями при режиме активизации. Сложный дифференцированный характер имеет также гамма-поле этих областей. Причинами, обусловившими такую дифференциацию, очевидно, являются неоднородность первичного распределения радиоактивных элементов в различных типах горных пород (как следствие многоэтапного процесса ультраметаморфизма и гранитизации) и избирательная концентрация радиоактивных элементов в рудовмещающих структурах, обусловленная перераспределением этих элементов при более поздних гидротермально-метасоматических процессах.

Геотектонический режим областей активизации обусловил длительность и сложность развития магматических процессов, что привело к сочетанию в составе ураноносной вулканогенно-интрузивной формации нескольких петрохимических ассоциаций щелочноземельных и щелочных пород калиевого ряда, принадлежащих к различным магматическим фазам и фациям глубинности. В составе этой сложной формации сочетаются щелочноземельные сиениты (авгитовые, роговообманковые, монцониты), различные порфиры и диориты со щелочными, нефелиновыми и псевдолейцитовыми сиенитами и их вулканогенными аналогами — трахитами, фонолитами, щелочными базальтоидами и др.

Металлогеническая специализация мезозойских щелочных вулканогенно-интрузивных формаций определяется в основном ураном и золотом, месторождения которых образовались после завершения магматической деятельности, непосредственно вслед за процессами позднего щелочного метасоматоза. Уран и золото локализуются в форме самостоятельных месторождений в различных структурно-геологических ус

ловнях, но золото является наряду с этим одним из постоянных спутников урана в рудах.

Радиоактивная минерализация областей мезозойской тектоно-магматической активизации щитов представлена двумя рудными формациями: 1) торитовой (урано-ториевой), не имеющей большого значения, 2) сложной браннеритовой и уранинито-настурановой (урановой), образующей месторождения урана.

Проявления торитовой формации характеризуются генетической связью со щелочными магматическими образованиями и предшествуют во времени появлению месторождений урана. Оруденение торитовой формации принадлежит к жильному типу (жилы, прожилки, микроштокверки, гнезда), представленному главным образом сульфидно-кварцевыми жилами с торитом, ферриторитом, оранжитом, бетафитом, гематитом, иногда эгирином и др. Размещение жильных тел контролируется разрывными нарушениями, проявленными в экзо- и эндоконтактах щелочных интрузий.

Урановое оруденение браннеритовой и уранинито-настурановой формации, относящееся к типу трещинного выполнения и замещения, локализуется в зонах разрывных нарушений, где оно представлено микробрекчиевыми и брекчиевыми рудами с тонковкрапленным и микропрожилковым распределением минерализации. Для урановых месторождений этой формации характерны два типа минеральных ассоциаций: 1) браннерит, коффинит, кварц, карбонат, адуляр, сульфиды, рутил, анатаз; 2) настуран, уранинит, кварц, карбонат, флюорит, барит, сульфиды, рутил, апатит. Они варьируют в зависимости от вмещающей среды и местами отчетливо проявляющихся элементов вертикальной зональности урановорудных зон. Характерно, что браннеритовая минерализация в основном свойственна кислой или средней по составу среде кристаллических пород фундамента (см. прилож. 6), в то время как настуран-уранинитовая ассоциация преимущественно развита среди щелочных магматических образований (см. прилож. 5).

Вертикальная зональность урановорудных зон, обусловленная химизмом рудообразующих растворов и текстурными особенностями долгоживущих рудовмещающих трещин, проявляется в развитии в верхних частях зон преимущественно жильных (кварцевожильных) образований с прожилковым и вкрапленным урановым оруденением, окруженных ореолами околорудноизмененных вмещающих пород.

Более глубокие части зон образованы микробрекчиями, катаклазитами и сложными брекчиями с тонковкрапленной и микропрожилковой урановой минерализацией. Рудные тела имеют форму вытянутых уплощенных линз, подчиняющихся внутренней текстуре рудовмещающих зон дробления.

Урановые месторождения контролируются:

1) системами разломов, активизирующих древние милонитовые швы в пределах поздних блоковых поднятий архейского кристаллического фундамента платформы. Урановое оруденение размещается в разломах и в оперяющих их трещинах;

2) системами разломов, сопряженных с активизированными в мезозое древними разрывными нарушениями, внутри крупных мезозойских щелочных массивов, испытавших дифференциальные блоковые движения. Урановая минерализация контролируется сложными системами разномасштабных трещин, оперяющих разломы.

Для локализации уранового оруденения особенно благоприятен первый тип рудоконтролирующих структур.

Характер размещения и масштабы уранового оруденения зависят преимущественно от физико-механических свойств вмещающих пород (пористость, хрупкость, тип древних деформаций), определяющих интенсивность проявления молодых разломов в областях активизации.

Изучение геологических условий формирования урановых месторождений областей мезозойской активизации щитов древних платформ позволило установить следующий комплекс региональных поисковых критериев:

1. Приуроченность урановых месторождений к купольноблоковым и сводовым структурам областей мезозойской активизации. Формирование этих структур, контролирующих районы развития магматизма областей активизации, определяется местами пересечения древних разрывных дислокаций и сопряженных узлов пересечения этих разломов с платформенными грабен-синеклизмами в наиболее подвижных частях щитов.

2. Тесная пространственная связь уранового оруденения со сложнодифференцированной щелочной и щелочноземельной формацией вулканогенно-интрузивных пород стадий активизации. Косвенным критерием оценки перспектив ураноносности может служить общий повышенный металлогенический фон районов развития магматических пород данной формации, обусловленный разнообразным проявлением эндогенного оруденения, в особенности золота, флюорита, торита.

3. Сложнодифференцированный характер гамма-полей, наличие гравитационных минимумов и переменных магнитных полей, отражающих направленное развитие глубинных процессов области активизации.

При поисках месторождений рассматриваемого типа могут быть выделены следующие локальные поисковые признаки:

1. Приуроченность рудных районов к поздним глыбовым поднятиям, возникающим в период завершения магматической деятельности (горсты, интенсивное тектоническое растрескивание вдоль древних региональных разломов, образование системы молодых разрывов).

2. Непосредственная связь уранового оруденения с минерализованными зонами брекчирования, микробрекчирования, катаклаза, трещиноватости и гидротермальных изменений в региональных разломах и структурах оперения. Данные структурные элементы характеризуются значительной линейной протяженностью и выдержанным планом их ориентировки. Основная масса нарушений крутопадающая, прослеживаемая на большие глубины. Рудоконтролирующие разрывные дислокации относятся к категории сбросовых и сбросо-сдвиговых трещин с небольшими амплитудами. Рудовмещающие разрывные трещины или совпадают с рудоконтролирующими региональными разломами, образуя их фрагменты, или развиваются самостоятельно. Значительная протяженность урановорудных зон обусловлена совмещением рудоконтролирующих и рудовмещающих структур.

3. Устойчивый минеральный состав урановорудных образований в зонах дробления, представленный в верхних частях зон прожилковыми и вкрапленными выделениями браннерита в ассоциации с жилами серого кварца, мориона с крустификационным строением, а также баритом. В нижних более глубоких частях зон преобладает главный тип уранового оруденения — микробрекчии и брекчии с вкрапленной и микропрожилковой урановой минерализацией (браннерит, настурал, коффинит, уранинит).

4. Развитие глубоко проникающей зоны окисления и выщелачивания в приповерхностных частях большинства урановорудных зон, проявленной в возникновении так называемых «сахарных» образований с обилием рыхлого глинистого вещества и лимонита или крупнообломочных брекчий ячеистого строения, нередко лимонитизированных и повторно окварцованных. Урановые минералы в зоне окисления представлены характерной ассоциацией урановых слюдок из группы арсенатов, ванадатов и фосфатов урана.

5. Наличие ореолов гидротермально измененных окolorудных пород. Гидротермальные изменения проявляются в окварцевании, аргил-

лизации, хлоритизации, карбонатизации, флюоритизации, баритизации, сульфидизации вмещающих пород, обычно захватывая широкие полосы внутри зон разломов, включающих урановородные тела. В условиях кислой среды вмещающих пород кристаллического фундамента особенно ярко выражен калиевый метасоматоз с образованием микроклина и адуляра.

6. Наличие характерных элементов-спутников урана в первичных и вторичных ореолах рассеяния урановородных тел: для браннеритовой и уранинито-смолковой формации — Ti, As, W, Nb, а также Mo, Pb, Ag, Au, редкие земли и др.; для торитовой формации — Pb, Bi, W, Nb, Ta, Mo, Yb, Zr. Для браннеритовой и уранинито-смолковой формации типично низкое торий-урановое отношение.

Главнейшими требованиями к методике специализированного крупномасштабного геологического картирования и составления карт прогноза на рассматриваемый тип урановых месторождений являются следующие:

1. Главное внимание должно быть обращено на тщательное картирование разрывных нарушений, как важнейших рудоконтролирующих структур. При этом следует четко различать два типа разломов. Древние, тесно связанные с развитием кристаллического фундамента, представленные бластомилонитовыми и бластокатаклазитовыми швами; отличительной особенностью этих разломов является сочетание милонитов и катаклазитов с проявлениями метасоматической гранитизации (пегматиты, существенно полевошпатовые породы и мигматиты) и молодые разломы (системы зон брекчирования и катаклаза), возникшие в условиях активизации древних структур и являющиеся урановородными зонами. Второй тип разломов обычно наследует древние милонитовые швы, оперяет их или развивается на участках с более слабой, но отчетливой тектонической подготовкой (линейные зоны метасоматической гранитизации, тела древних основных пород, сочетание различных, преимущественно хрупких щелочных пород внутри сложных интрузивных тел с зонами трещиноватости и т. д.).

Необходимо картировать все признаки деформации, даже слабые проявления брекчирования и катаклаза. Разломы следует непрерывно прослеживать по простиранию с разделением участков по степени проявления брекчирования и выделением интервалов с интенсивными гидротермальными изменениями.

При картировании разрывных нарушений внутри вулканогенно-интрузивных тел щелочной магматической формации следует особо тщательно изучать характер строения оперяющих сколовых трещин и места их изгиба и сочленения с крупными разломами (наиболее перспективные участки локализации урановых руд), закономерность расположения рудовмещающих трещин в зависимости от физико-механических свойств вмещающих пород (пористости, хрупкости и т. п.), прослеживать разломы в складчатых структурах фундамента и выявлять их особенности при переходе в магматические породы.

Во всех случаях при картировании зон разломов необходимо предварительное систематическое и тщательное дешифрирование аэрофотоснимков.

2. Особое внимание должно быть обращено на изучение и картирование гидротермальных образований — зон сульфидизации, баритизации, флюоритизации, хлоритизации, окварцевания, калиевого или натриевого метасоматоза и всех, даже незначительных, признаков радиоактивной минерализации. Учитывая высокую степень окисления и иногда выщелачивания приповерхностных частей урановородных зон, следует очень внимательно подходить к оценке их ураноносности. Даже при отсутствии на поверхности проявлений уранового оруденения зоны брекчирования должны тщательно прослеживаться, вскрываться гор-

ными выработками и подвергаться минералогическому и геохимическому изучению. Очень важно при этом фиксировать жилы и высыпки кварца с крустификационным строением, а также лимонитизированные «ячеистые» брекчии и образования типа «сухарей» коры выветривания, непосредственно указывающие на рудоносные разрывные структуры.

3. Учитывая парагенетическую связь уранового оруденения с магматической формацией стадии мезозойской активизации, при геологическом картировании должны изучаться все проявления многофазной магматической деятельности. Особо следует отражать на картах эгириновые граниты и щелочные метасоматиты, с которыми оруденение тесно ассоциирует во времени и пространстве. Необходимо выяснять закономерности пространственного размещения магматических пород и характер их взаимоотношений с рудоносными разломами, а также выделять ореолы приконтактных и метасоматических изменений вмещающих пород. В результате геологосъемочных работ на карту должны быть нанесены крупные магматические массивы, системы даек щелочных пород, нередко контролирующих ураноносные сколовые трещины, и ореолы фенитов, пространственно сопряженные с урановорудными зонами.

4. Изучение кристаллического фундамента должно заключаться в его генетическом расчленении с целью выделения различно гранитизированных типов гнейсо-сланцевых комплексов, обладающих различными физико-механическими свойствами, а также продуктов ультраметаморфизма (разнообразных гранитов, пегматоидов), обогащенных радиоактивными элементами. Отражение на карте этих особенностей геологического строения позволяет оценить перспективность (равномерность, интенсивность дислокаций и т. п.) древних разломов и подойти к решению вопроса об источнике рудного вещества. Меньшее значение при изучении фундамента имеет выделение на специализированных картах стратиграфических горизонтов.

5. Важную роль при геологическом картировании имеет оценка глубины эрозионного среза урановорудных зон и выяснение соотношений отдельных тектонических блоков. В связи с этим необходимо проведение специального изучения положения подошвы платформенного покрова или опорных горизонтов кристаллического фундамента в современном эрозионном срезе и поверхностных срезах урановорудных зон на различных горизонтах вертикальной зональности. Результатом этих наблюдений должна явиться тектоническая карта, а для отдельных участков и карта блокового строения с серией разрезов. При составлении карты блокового строения необходимо произвести реставрацию первоначального положения выделенных поверхностей, основываясь на общих закономерностях геологического развития района. Разница гипсометрических уровней современного и реставрированного положений опорных поверхностей позволяет определить величину вертикальных перемещений в каждой конкретной точке района. На основе карты блокового строения возможно оконтурить наиболее перспективные участки активизированной области, а также дать сравнительную оценку величине эрозионного среза конкретных ураноносных зон.

6. Важны данные геохимических исследований, заключающихся в изучении первичных и вторичных ореолов рассеяния радиоактивных элементов и элементов-спутников урана. Для выявления первичных ореолов производится опробование всех разновидностей коренных пород, развитых в районе, с определением в пробах U, Th и элементов-спутников — Tl, As, W, Nb, Mo, Pb, Ag, Au. Как результат должна быть составлена специальная радиогеохимическая карта. Особое внимание на этой карте должно быть уделено классификации и типизации по геохимическим данным рудовмещающих и перспективных разрывных структур (см. прилож. 6, Б). Изучение вторичных ореолов рассея-

ния урана производится с целью оценки ураноносности крупных площадей и выявления по потокам рассеяния урановорудных зон на закрытых наносами участках. Для древних щитов обычно характерен низкий геохимический фон содержания урана в рыхлых отложениях ( $1-2 \cdot 10^{-4}\%$ ). Превышения этого фона в 3 и более раз должны рассматриваться как аномалии и подвергаться детальному изучению. Как показал опыт работ, наиболее оптимальным является масштаб донного опробования 1:25 000 (размер сети металлометрического опробования  $100-150 \times 10-15$  м). Параллельно с донным должно производиться радиогидрохимическое опробование подземных и поверхностных вод, преследующее те же цели. Детальным исследованиям должны подвергаться все источники вод с содержаниями урана, превышающими фон ( $n \cdot 10^{-7}\%$ ).

7. Кроме наземной гамма-съемки, применение которой в ходе картирования обязательно, мелкомасштабных аэрогаммаспектрометрических и аэромагнитных работ, способствующих выбору крупных перспективных площадей, эффективна постановка комплекса магнито- и электроразведки, в отдельных случаях гравиметрической съемки, гамма-шпуровой и эманационной съемок.

Магнитная съемка м-бов 1:25 000 и 1:10 000 должна применяться для прослеживания разломов, плохо выраженных на поверхности (рудные зоны в ряде случаев фиксируются магнитными минимумами). При картировании оперяющих и сопряженных трещин более высоких порядков, особенно при изучении трещиноватости в зонах дробления сложного состава, эффективна микромагнитная съемка. В аналогичных условиях хорошие результаты дает электроразведка (дипольное электропрофилирование, методы срединного градиента и вызванной поляризации). На закрытых территориях эффективными методами поисков, дополняющими и уточняющими результаты картирования, являются гамма-шпуровая и эманационная съемки.

#### **ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ СРЕДНЕ-НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА В ЗОНАХ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ МОЛОДЫХ ПЛАТФОРМ**

В активизированных зонах молодых эпигерцинских платформ известны многочисленные гидротермальные месторождения урана, располагающиеся в весьма различных геологических обстановках, но близкие по времени формирования, объединенные приуроченностью к структурам стадии активизации. Месторождения характеризуются развитием преимущественно настурановой (часто с антраксолитом) и реже настурано-антраксолитовой рудных формаций, бедных жильными минералами. В ряде мест урановое оруденение накладывается на проявления более ранней сульфидной минерализации (медной, медно-молибденовой, полиметаллической), что приводит к образованию комплексных месторождений.

Активизированная платформа, в пределах которой размещаются гидротермальные месторождения урана, является эпигерцинским образованием и находится во внешней зоне подвижного пояса. Фундамент платформы представляет собой фрагмент обширной герцинской складчатой области завершеного развития, для которой характерно наличие древних (протерозойских) срединных массивов. Консолидация складчатой области произошла в раннем — среднем карбоне, когда геосинклинальные формации (песчано-сланцевая, вулканогенная и пр.) претерпели интенсивный региональный метаморфизм, были дислоцированы и прорваны крупными батолитоподобными интрузиями гранитоидов. В позднеорогенных межгорных впадинах, заложенных на этом ос-

новании, в течение позднего карбона — перми — нижнего триаса сформировались угленосные, красноцветные (молассовые) и наземные вулканогенные формации.

В начале мезозоя произошло превращение складчатой области в платформу. Тектонический режим этой области на протяжении юры и части мела характеризовался устойчивым погружением на фоне общей пенеппенизации рельефа. На обширных пространствах, охватывающих не только герцинские складчатые сооружения, но и краевую часть древнего жесткого массива, формировались достаточно мощные и однообразные морские терригенные угленосные, а затем мелководные карбонатные отложения. Вулканические излияния имели весьма локальное развитие. Эти отложения не претерпели впоследствии регионального метаморфизма и повсеместной складчатости и представляют собой чехол платформы.

В середине мелового периода (в послеаптское — предсенонское время) эпигерцинская платформа подверглась тектонической переработке (первая стадия активизации), которая происходила, вероятно, под влиянием интенсивных тектонических движений в геосинклинали, отделенной от платформы полосой протерозойских жестких массивов. В результате этой стадии активизации платформа была расчленена на два рода блоков: 1) сохранившие в дальнейшем платформенный режим и нерасчлененный платформенный чехол (обширные внутренние части платформы); 2) испытавшие дальнейшую неоднократную активизацию (узкие краевые части платформы).

Вторая стадия активизации — тектоно-магматическая — проявилась главным образом в краевой части платформы, в области сопряжения в ее фундаменте герцинских складчатых сооружений и древнего жесткого массива. В отличие от первой стадии активизации, не сопровождавшейся магматическими и рудными образованиями и выражавшейся в расчленении области на блоки и в короблении чехла, вторая стадия активизации характеризовалась возникновением в течение сенона — палеоцена крупного трансрегионального пояса разломов, контролирующего интенсивные вулканические проявления, размещение дискордантных интрузий и разнообразной гидротермальной минерализации (пояс тектоно-магматической активизации).

Пояс тектоно-магматической активизации представляет собой зону крупного глубинного разлома, имеющего дугообразную форму и протяженность более тысячи километров при мощности в первые десятки километров. Платформенный чехол в его пределах расчленен и вдоль наиболее крупных разрывов (сбросов, взбросов, надвигов) деформирован в серии сжатых, иногда опрокинутых линейных складок. Линейные зоны деформаций чехла ассоциируют с обширными полями весьма пологого залегания слагающих его пород. Зона глубинного разлома пересекает в фундаменте активизированной платформы как герцинские складчатые структуры, так и структуры сопредельного древнего жесткого массива. На значительном протяжении эта зона характеризуется развитием мощных толщ излившихся и пирокластических пород трахиандезитовой и андезитовой формаций сенонского возраста и связанных с ними субвулканических образований (латиты, трахиандезиты, андезиты). На участке дугообразного изгиба зоны глубинного разлома, где она несколько удаляется от области сочленения герцинских структур и древнего жесткого массива, наблюдается ее разветвление. Здесь отсутствуют вулканические породы второй стадии активизации (сенонские) и на поверхности обнажаются локальные наложенные впадины первой стадии активизации, выполненные терригенными и угленосными осадками сенонан-турона, вмещающими потоки лав кислого и среднего состава. Вдоль всей зоны глубинного разлома протягиваются цепочки гипабиссальных интрузий сложного состава (монцититы, грано-

диориты, кварцевые диориты, сиениты и габбро), а также широко развиты дайковые поля подобного состава.

Пестрота состава интрузивных тел объясняется многофазностью их формирования, а также процессами ассимиляции вмещающих пород. Возраст этих магматических проявлений второй стадии активизации определяется в пределах верхнего мела — палеоцена.

Интрузии имеют размеры выходов от единиц до сотен квадратных километров и секут, как и дайки, не только структуры, сложенные породами фундамента и чехла платформы, но также осадочные и вулканогенные образования первой и второй стадий активизации. В вулканических породах андезитовой и трахиандезитовой формаций эти интрузии сопровождаются широкими ореолами пропилитизации, а в осадочных и метаморфических породах — зонами роговиков и скарнов.

С интрузиями и дайковыми полями второй стадии активизации пространственно тесно связаны месторождения железа (магнетитовые скарновые), меди и пирита прожилково-вкрапленного типа в зонах пропилитизации эффузивов, медно-молибденовые с кобальтом, полиметаллические (часто с золотом) и урановые месторождения. Минерализация проникает в породы всех структурных этажей, включая и образования двух стадий активизации.

По отношению к зоне активизации (региональному глубинному разлому) урановые рудные поля и месторождения занимают достаточно определенную позицию. На участках зоны, где широко развиты вулканы сенона в виде сплошных полей, месторождения урана располагаются по периферии зоны, в пределах переработанных в период активизации более древних структур. При этом удаление урановых полей и месторождений от условных границ зоны не превышает 5—15 км. На участках зоны, где отсутствуют проявления сенонского вулканизма и обнажаются тектонически переработанные структуры фундамента и чехла платформы, а также на участках впадин первой стадии активизации, прорванных интрузиями позднемелового — палеоценового возраста, месторождения урана располагаются непосредственно в пределах зоны глубинного разлома, тяготея к наиболее крупным полям развития дискордантных интрузий. За пределами пояса этих интрузий существенные проявления урановой минерализации отсутствуют.

Месторождения урана размещаются вдоль зоны активизации неравномерно, они тяготеют к отдельным структурным узлам, положение которых определяется некоторыми деталями строения самой зоны. В частности, месторождения локализуются на участках резких изгибов зоны по простиранию, резких пережимов и разветвления ее на участках выклинивания отдельных ветвей зоны.

В связи с тем, что трансрегиональный глубинный разлом рассекает весьма различные по геологическому строению участки платформы и ее фундамента и характеризуется неравномерной насыщенностью магматическими образованиями, наблюдается большое разнообразие структурных обстановок, благоприятных для локализации уранового оруденения, и соответственное разнообразие структурно-морфологических групп месторождений.

В зависимости от состава вмещающих пород, типа вмещающих структур и состава руд среди гидротермальных месторождений, контролируемых зоной активизации платформы, выделяются следующие группы:

1. Прожилково-вкрапленные и реже жильные настурановые и сульфидно-настурановые месторождения в черных углисто-глинистых сланцах силура и гранитоидах.

Урановое оруденение в интрузивных породах развито менее широко, чем в сланцах. Оно контролируется крупными близширотными крутопадающими нарушениями и размещается главным образом в оперяющих их (или ассоциирующих с ними) и падающих в их сторону разрывах северо-западного и меридионального направления, развивающихся вдоль всякого бока дайкообразных тел альбитофиров. Вдоль нарушений интрузивные породы подверглись интенсивным гидротермальным изменениям: карбонатизации, серицитизации, окварцеванию, хлоритизации. Оруденение в зонах прожилково-вкрапленное с неравномерным распределением металла.

Месторождения этой группы несколько различаются по вещественному составу руд. В рудных телах среди углисто-глинистых сланцев развиты настуран, сульфиды меди, цинка, свинца, молибдена, но присутствует мало карбонатов. Среди интрузивных пород, напротив, мало сульфидов и больше карбонатов. В некоторых месторождениях экзоконтактной части интрузива совместно с настураном в рудах присутствуют не только указанные сульфиды, но и арсениды никеля и кобальта.

***Метасоматические пластообразные и (реже)  
 жильные настурановые месторождения  
 в контактово-метаморфизованных песчаниках***

Район урановых месторождений этой группы находится в пределах участка зоны активизации, где довольно широко развиты гранодиоритовые интрузии, образующие цепочки вдоль крупных разломов. Интрузии прорывают кристаллические сланцы нижнего—среднего палеозоя, вулканогенные и осадочные породы крупной позднеорогенной межгорной впадины (пермские) и отложения платформенного чехла. Для района характерно пологое залегание пород и развитие не только крутопадающих разломов, но и крупных пологих надвигов с амплитудой горизонтального перемещения в первые десятки километров.

В пределах наиболее крупного рудного поля толща пород перми разделяется на две свиты: нижнюю, представленную переслаиванием туфов кварцевых порфиров, слюдястых песчаников и сланцев; и верхнюю (рудовмещающую), сложенную черными песчаниками и перекрывающими их филлитами. В верхах пачки черных песчаников выделяется горизонт серых массивных и полосчатых альбитизированных песчаников, к которому приурочены рудные залежи. Метаморфические изменения пород (альбитизация, эпидотизация и пр.) связываются с воздействием крупной интрузии гранодиоритов, вскрытой буровыми скважинами под месторождением на глубине 700—800 м.

Площадь месторождения заключена в узле пересечения крупных разломов северо-восточного и северо-западного направления. Породы перми в пределах этого структурного узла на фоне общего пологого (10—30°) моноклинального падения смяты в небольшую антиклиналь северо-западного простирания. В ядре этой складки располагается пластовая интрузия (силл) альбитизированных диабазов. В кровле пластовой интрузии под экраном филлитов в альбитизированных песчаниках размещаются рудные тела месторождения. При этом контуры распространения уранового оруденения в плане строго совпадают с контурами силла диабазов.

Оруденение имеет четко выраженный пластовый характер, а рудные тела в пределах продуктивного горизонта представлены серией оруденелых прослоев, разделенных пустыми прослоями. Распределение урана в рудном пласте по мощности и простиранию неравномерное. Обогащенные участки имеют форму линз, гнезд или желваков с характерным резким спадом концентраций урана от рудной к безрудной

части пласта. Рудные скопления тяготеют к массивным разностям песчаников, в полосчатых они встречаются реже. В контроле рудных скоплений в пределах продуктивного горизонта не отмечается сколько-нибудь заметной роли разрывных нарушений. В зоне секущего контакта силла диабазов в скарнированных вмещающих породах и в диабазовых известны секущие жилообразные скопления настурана.

Руды пластовых тел месторождения по составу чисто настурановые. Настуран замещает цемент и иногда кластические зерна песчаников. Характерно отсутствие жильных минералов и бедность сульфидами.

Околорудные изменения вмещающих пород проявлены слабо и выражаются главным образом в гематитизации песчаников.

### ***Метасоматические пластообразные и реже жильные настурано-антраксолитовые месторождения в пестроцветных терригенных отложениях***

Месторождения этой группы располагаются в пределах весьма суженного близмеридионального участка зоны активизации, где на поверхности обнажаются чрезвычайно сильно дислоцированные отложения крупной позднеорогенной впадины ( $C_3-P_1$ ) и платформенного чехла ( $J_1-Cr_1$ ), прорванные цепочками интрузий монцитит-гранодиоритового кварц-диоритового состава. Эти отложения смяты совместно в серии узких, вытянутых вдоль зоны активизации, сжатых, почти изоклинальных складок, разбитых крупными продольными и диагональными сбросами и более мелкими поперечными разрывами. Цепочки интрузий приурочены к крупным краевым разломам, ограничивающим поля развития пород верхнего палеозоя.

С контактными зонами интрузий связаны магнетитовые, пиритовые и полиметаллические месторождения.

Залежи урановых руд размещаются среди пестроцветных терригенных отложений нижней перми, и лишь небольшие рудные скопления отмечаются в подстилающих угленосных отложениях верхнего карбона. В породах платформенного чехла известны лишь незначительные урановые проявления. Для рудовмещающей толщи континентальных пестроцветных отложений характерна ритмичность различных порядков и разнообразие фациального состава. Хорошо выделяются фации горного подножья, озер, речных долин, в том числе русловые, пойменные и пр. Скопления урановых руд приурочены главным образом к осадкам русловых, аллювиальных и прибрежно-озерных фаций, представленных грубокластическими, сравнительно хорошо отсортированными и хорошо проницаемыми отложениями. Эти фации, как правило, образуют мощные линзы и полосы в основании разреза крупных ритмов.

Однако урановое оруденение размещается не по всей площади развития благоприятных фаций пород, а лишь в пределах узкой полосы наиболее интенсивно дислоцированных пород перми, примыкающей к крупному продольному разлому (сбросу), по которому приведены в соприкосновение породы верхнего палеозоя и мезозоя. При этом месторождения размещаются в замковых частях и на крыльях крупных сжатых антиклинальных складок и под плоскостями экраняющих разрывных нарушений. Наиболее богатое оруденение приурочено к участкам интенсивного дробления и трещиноватости пород, непосредственно примыкающих к рудоконтролирующему разлому. Рудные тела, как правило, имеют линзообразную и пластообразную форму. Они образуют цепочки, вытянутые в соответствии с конфигурацией контролирующей их палеорусел и ориентированные под острым углом к простиранию осей складчатых структур.

Вещественный состав руд необычен для месторождений зоны активизации. Здесь преобладает урансодержащий твердый битум (антрак-

солит), содержащий тончайшие включения настурана. С антраксолитом ассоциирует незначительное количество сульфидов также в виде вкрапленности и прожилков.

Околорудные изменения пород сопровождаются, как правило, их позеленением и осветлением, что связывается с появлением гидрослюда типа иллита (за счет каолинита цемента) и закисных соединений железа за счет окисных. Интенсивность изменений и ширина их ореола находится в прямой зависимости от масштабов (особенно мощности) рудных тел. Мощность измененных пород обычно в 3—5 раз превышает мощность рудных тел.

### *Жильные сульфидно-настурановые и настурановые (с антраксолитом) месторождения в вулканогенных породах кислого состава*

Для одной из крупных позднеорогенных впадин, рассеченной зоной активизации, характерно широкое развитие вулканогенных пород, ассоциирующих в пространстве с континентальными красноцветными терригенными отложениями пермского возраста. Вулканогенные образования имеют кислый состав и слагают тектоно-вулканическую структуру, главным элементом которой является крупный палеовулкан центрального типа (стратовулкан). Жерло палеовулкана закупорено неким кварцевым порфирами и ортофирами и обрамлено прерывистым кольцом дайкообразных тел поздних субвулканических интрузий.

Образования конуса вулкана имеют мощность более 400 м и представлены ритмично построенной толщей стратифицированных слоистых пирокластических пород — лито- и кристаллокластических туфов кварцевых порфириров, пепловых туфов, ксенотуфов. В этой толще на разных уровнях распространены лавовые потоки.

Тектоно-вулканическая структура в целом значительно эродирована и перекрыта полого залегающими отложениями платформенного чехла ( $J_1$ — $C_{g1}$ ), сохранившимися на значительных площадях.

Стратифицированные вулканогенные и осадочные породы перми смяты в складки и рассечены разломами нескольких направлений. Среди разрывных нарушений выделяются довулканические и поствулканические. В последних особо выделяется система крупных разрывов, секущих породы как тектоно-вулканической структуры, так и перекрывающего их платформенного чехла. Указанная система разломов ориентирована вкрест рестрикции позднепалеозойских складчатых структур и сопрягается с региональным краевым разломом зоны активизации. Она контролирует в пределах тектоно-вулканической структуры размещение урановых месторождений, которые располагаются на тех участках, где разломы пересекают жерловины побочных мелких вулканических аппаратов, вскрытых эрозией или погребенных в толще пирокластических пород.

В случае размещения месторождений урана в породах некков рудовмещающими являются разрывные нарушения нескольких типов: прямолинейные крутопадающие, параллельные рудоконтролирующему разлому; дугообразные крутопадающие, развивающиеся по периферии некка; пологие, развивающиеся между породами апикальной части некка и перекрывающими их отложениями платформенного чехла и ассоциирующие с крутопадающими в пределах некка.

Рудные тела в породах некков представляют собой или жилы с отчетливыми границами, или чаще всего зоны неправильных очертаний с нечеткими ограничениями, морфология которых в значительной мере зависит от расположения систем трещин, развивающихся по первичной отдельности и структурам течения пород. Рудные скопления имеют форму линз, гнезд, штокверкообразных систем трещин и располагаются

на участках резких изгибов и пережимов рудовмещающих разрывов. В местах сочленения пологих и крутопадающих разрывов образуются рудные столбы. Урановая минерализация месторождений в неках представлена настураном и чернями. Настуран, как правило, ассоциирует с небольшими количествами арсенопирита, галенита, сфалерита, пирита, марказита и иногда твердого битума типа антракосолита. Из жильных минералов в малых количествах присутствуют кварц и кальцит. Известны примеры наложения урановой минерализации на более раннюю полиметаллическую минерализацию и образования комплексных месторождений.

Околорудные изменения вмещающих пород выражаются в развитии зональных ореолов аргиллизации, окварцевания и серицитизации.

В случае размещения месторождений урана над погребенными неками среди слоистых пирокластических пород условия локализации оруденения несколько отличаются от уже описанных. Кроме структурного контроля оруденения, здесь проявляется отчетливый литологический (литолого-геохимический) контроль. В пределах рудовмещающих крутопадающих трещин рудные скопления преимущественно размещаются на участках пересечения ими горизонтов и пачек ксенотуфов, которые от прочих слоистых пирокластических пород кислого состава отличаются наличием большого количества обломков (бомб) карбонатизированных, хлоритизированных и пиритизированных серпентинитов. Последние были заимствованы при вулканических эксплозиях из массива ультраосновных пород, рассеченного жерлами пермских вулканов. Рудные столбы, образованные на участках пересечения крутопадающими трещинами горизонтов ксенотуфов, имеют пологое склонение, соответствующее падению слоистых пород.

Вещественный состав руд сходен с таковым месторождений в жерлах. Отличие месторождений, залегающих среди слоистых пирокластических пород, состоит лишь в наложении на жилы карбонатно-настурановой стадии минерализации более поздних отложений антракосолитовой стадии, проявляющейся главным образом в участках крутопадающих разрывов, находящихся под экраном пологих нарушений. Изменения вмещающих пород выражаются в халцедоноподобном окремнении с полной перекристаллизацией породы и превращением ее в «джаспероид» и гематитизации.

### *Прожилково-вкрапленные и жильные сульфидно-настурановые месторождения в андезитах*

В центральной части зоны активизации расположено рудное поле, в пределах которого известны комплексные кобальто-медно-молибденовые с ураном месторождения. Они находятся среди вулканогенных пород андезито-трахнандезитовой формации сенона, в экзоконтакте интрузии позднемелового — палеоценового возраста. Интрузия имеет вытянутую дайкообразную форму. Она сложена главным образом авгитбиотитовыми сиенитами, дающими постепенные переходы к монцитам и граносиенитам. Вмещающие интрузию вулканогенные породы сенона представлены андезитами, их туфами, брекчиями, а также латитами и их туфами. В пределах рудного поля эти породы смяты в относительно пологую антиклинальную складку северо-западного простирания. Северо-восточное крыло структуры прорвано интрузией монцитов—сиенитов, вытянутой параллельно оси складки. Вблизи интрузии вулканогенные породы пропилитизированы.

Месторождения располагаются в юго-западном экзоконтакте интрузии, на том участке, где антиклинальная складка рассечена серией поперечных восток-северо-восточных разломов, являющихся рудовмещающими. Структурные особенности отдельных месторождений опре-

деляются наличием крутопадающих тектонических зон и трещин, сконцентрированных в пучки.

Рудные тела располагаются исключительно среди вулканогенных пород. При переходе в породы интрузии жилы теряют оруденение, ветвятся и затухают. Повышенные концентрации урана приурочены к наиболее крупным медно-пиритовым жилам, заключающим основные запасы меди, пирита, молибдена, кобальта. Однако в ряде случаев отмечается обособление в плоскости жил медной и урановой минерализации — последние в большинстве случаев размещаются в висячем боку медно-рудных жил. Форма урановорудных тел жилообразная или линзообразная.

Рудные тела месторождений сформированы в результате трех последовательных стадий минерализации (от ранних к поздним) — магнетит-уранинитовой, кварц-сульфидной и карбонатно-настурановой — и отличаются сложностью минерального состава. Главными минералами рудных жил являются халькопирит, кобальтсодержащий пирит, магнетит. Из жильных минералов присутствуют кварц, кальцит, анкерит, флюорит, халцедон, скаполит, хлорит. Урановые минералы представлены уранинитом, настураном, гидронастураном, урановыми чернями, уранофаном, ураноспинитом. Изменения вмещающих пород выражаются в образовании хлорита и серицита.

### *Геологические критерии и поисковые признаки*

Несмотря на многообразие условий локализации месторождений урана перечисленных пяти групп данного типа, можно наметить основные, общие для них геологические критерии, которые необходимо учитывать при специализированной геологической съемке и поисковых работах.

Наиболее перспективными для локализации гидротермальных урановых месторождений представляются следующие районы и структуры:

1. Находящиеся на участках крутых изгибов, разветвлений, пережимов, выклинивания зоны активизации и ее ветвей, фиксируемых проявлениями андезитового вулканизма, и (или) интрузий монзонитов — гранодиоритов и даек верхнемелового — палеоценового возраста.
2. Располагающиеся в узкой полосе вдоль границы с зоной активизации, симметрично по отношению к ней, а также и в ее пределах.
3. Сложенные слабометаморфизованными осадочными и вулканогенными породами верхнего палеозоя (позднеорогенных впадин), гранитоидами, углисто-глинистыми сланцами палеозоя, а также андезитами и песчаниками верхнего мела. При этом жильные месторождения урана следует ожидать в вулканогенных породах кислого и среднего состава и гранитоидах, прожилково-вкрапленные — в углисто-глинистых сланцах и андезитах, пластообразные и линзообразные метасоматические — в слабометаморфизованных грубокластических пестроцветных породах.
4. Находящиеся в зонах развития отложений платформенного чехла малой и средней мощности (500—1000 м), которые могли играть роль экрана при формировании месторождений.
5. Находящиеся на границах структурных ярусов, значительно отличающихся по составу и физико-механическим свойствам слагающих их пород.
6. Ассоциирующиеся с участками развития пород, богатых слабометаморфизованным органическим веществом.
7. Характеризующиеся максимальной напряженностью разрывной тектоники и развитием дайковых полей верхнемелового — палеоценового возраста.

8. Характеризующиеся проявлениями полиметаллической и редко-металльной минерализации.

Урановое оруденение во многих случаях размещается в экзоконтактных зонах гранитоидов, что на первый взгляд может свидетельствовать о генетической или парагенетической связи минерализации с интрузиями. Однако урановые месторождения зон активизации размещаются как вблизи интрузий, относящихся к стадии активизации (2 и 5 группы месторождений), так и намного более древних (группа 1), которые вне зоны активизации не сопровождаются урановым оруденением.

Видимо, отмеченная пространственная связь с интрузиями объясняется только тем, что именно в экзоконтактах интрузий, независимо от их возраста, создавались условия для возникновения структурных и геохимических обстановок, наиболее благоприятных для локализации урановых руд.

При поисках месторождений урана в зонах тектоно-магматической активизации молодой платформы необходимо учитывать небольшую глубину современного эрозионного среза областей такого типа и во многих случаях «слепой» характер оруденения. В этом случае огромное значение приобретает оценка перспектив ураноносности районов по сумме перечисленных выше геологических критериев.

#### **ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ЗОНАХ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ ФАНЕРОЗОЯ**

##### *Гидротермальные низкотемпературные близповерхностные месторождения урана в зонах активизации ниже-среднепалеозойской складчатой области*

Результаты поисковых работ на уран за последнее десятилетие показывают, что возможности выявления урановых месторождений новых, ранее неизвестных генетических типов далеко не исчерпаны.

В качестве примера урановорудных образований, которые по геологической позиции и ряду других особенностей пока не могут быть уверенно сопоставлены с известными типами урановых месторождений, ниже рассматривается низкотемпературное близповерхностное урановое оруденение, представленное кремнисто-иордизито-мышьяково-настурановой формацией, установленное в одной из ниже-среднепалеозойских складчатых областей.

Основные черты геологического строения района проявления уранового оруденения определяются широким распространением осадочных, вулканогенных и интрузивных образований геосинклинальной стадии развития складчатой области (рис. 1). Первые из них представлены мощной толщей карбонатных пород, относящихся по возрасту к позднему докембрию. В составе карбонатной толщи преобладают два типа пород: кристаллические известняки, слагающие нижнюю половину толщи, и доломитовые мраморы, залегающие выше по разрезу. Карбонатные породы перекрыты нижепалеозойскими эффузивами диабазопорфиритовой формации. Стратифицированные отложения позднего докембрия — нижнего палеозоя образуют крупную антиклинорную структуру, в глубокоэродированной центральной части которой вскрывается нижепалеозойский массив плагиогранитов и гранодиоритов, переходящих в эндоконтактных частях в диориты и габбро. По своему положению это типичная раннеорогенная интрузия, относящаяся к известной габбро-плагиогранитовой формации. Контакты массива с карбонатными и вулканогенными породами интрузивные, местами осложненные тектоническими нарушениями. В экзоконтактной зоне отмечается

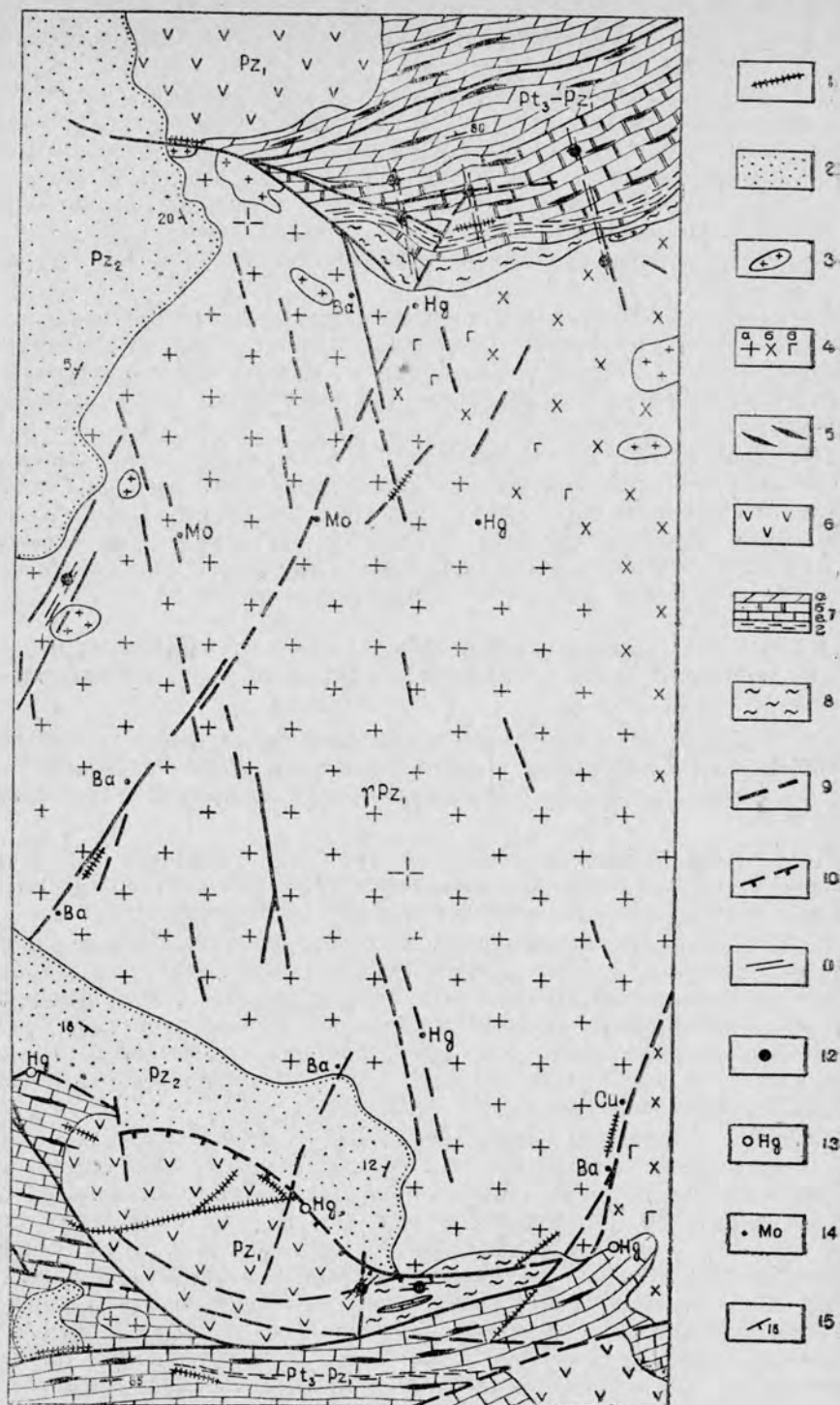


Рис. 1. Схематическая геологическая карта одного из участков проявления кремнисто-нордзито-мышьяково-настурановой урановорудной формации.

1 — дайки кислого и кислого субщелочного состава послесреднепалеозойского возраста; 2 — среднепалеозойские красноцветные существенно терригенные отложения; 3—4 — нижнепалеозойский габбро-плагногранитовый комплекс (3 — граниты аляскитовые второй интрузивной фазы, 4 — породы главной интрузивной фазы; а — плагнограниты, б — диориты, в — габбро); 5 — дайки основного состава нижнепалеозойской диабазо-порфиритовой формации; 6 — эффузивы нижнепалеозойской диабазо-порфиритовой формации; 7 — верхнепротерозойская — нижнепалеозойская кремнисто-карбонатная серия;

ороговикование пород и локальное развитие гранат-пироксеновых скарнов.

В районе широко развиты дайки и небольшие штоки аплитов, аплитовидных гранитов, лампрофиров, порфириров, диабазов, габбро-диабазов. Дайки и штоки аплитов и аплитовидных гранитов, как правило, локализируются в узкой полосе экзо- и эндоконтакта интрузивного массива. На основании близкого возраста пород массива и аплитов (определение калий-аргоновым методом) последние рассматриваются как образования завершающей фазы единого магматического комплекса.

Дайки пород среднего и основного состава обильно насыщают разрез карбонатной толщи и ориентированы большей частью в соответствии с простираем вмещающих пород. Одна часть даек и небольших штоков, в основном диоритовых порфириров, представляет дайковую фацию нижнепалеозойского гранитоидного массива, часть же, по-видимому, является корневой системой покровов нижнепалеозойской диабазо-порфиритовой формации.

В пределах ниже-среднепалеозойской складчатой области, включающей рассматриваемый район, позднеорогенная стадия развития проявилась формированием протяженных наложенных прогибов, выполненных образованиями андезито-диоритовой и липарито-гранитовой вулканогенно-интрузивных формаций и отложениями терригенной красноцветной формации. Непосредственно в ураноносном районе из геологических образований, достоверно относящихся к позднеорогенной стадии развития, установлены среднепалеозойские красноцветные конгломераты, песчаники, алевролиты, трансгрессивно перекрывающие на отдельных участках осадочные и вулканогенные образования позднего докембрия — нижнего палеозоя и нижнепалеозойский массив гранитоидов. Отложения выполняют сравнительно узкий прогиб, автономный по отношению к основным структурным элементам досреднепалеозойской стадии развития складчатой области. Местами ось прогиба ориентирована вкрест простираемых складчатых структур отложений позднего докембрия — нижнего палеозоя.

Важную роль в строении района играют разрывные нарушения нескольких различно ориентированных систем. Из них в пределах нижнего структурного яруса (поздний докембрий — нижний палеозой) наиболее четко проявлены протяженные, продольные по отношению к простираем складчатых структур, зоны смятия и рассланцевания. По времени заложения они относятся к наиболее древним. В процессе дальнейшего развития района некоторые из них подновлялись и поэтому отчетливо фиксируются в отложениях верхнего структурного яруса (в среднепалеозойских отложениях).

Имеющиеся факты свидетельствуют о значительной тектонической активности района в посторогенный период его развития. В этот период, в частности, проявились крупные разрывные нарушения надвигового типа с большими амплитудами смещения и имело место образование в пределах позднеорогенных среднепалеозойских прогибов наложенных впадин, выполненных отложениями мезозойской терригенной угленосной формации.

Кроме тектонических нарушений, носящих характер региональных (протяженные зоны смятия и рассланцевания) и более локализован-

---

*a* — доломиты, *b* — кристаллические известняки, *в* — нерасчлененные карбонатные отложения, *г* — кремнисто-углеродистые сланцы и кварциты; *8* — амфиболиты (метаморфизованные эффузивы верхнепротерозойской диабазо-порфиритовой формации); *9* — тектонические нарушения сбросового типа; *10* — тектонические нарушения надвигового типа; *11* — малоамплитудные зоны брекчирования и повышенной трещиноватости; *12* — участки проявления уранового оруденения кремнисто-иордизито-мышьяково-настурановой формации; *13* — рудопоявления ртути; *14* — гидротермальные проявления; *Mo* — молибдена, *Va* — барита, *Su* — медно-сульфидной минерализации; *15* — элементы залегания пород.

ных, но сравнительно крупных надвигов, в районе интенсивно проявились тектонические подвижки, перпендикулярные или косо ориентированные по отношению к простиранию главных складчатых и разрывных структур. Специфической их чертой является малоамплитудный характер. Морфологически они выражены в виде зон брекчий и повышенной трещиноватости. Имеются данные о том, что некоторые из таких нарушений смещают чешуи надвигов и, следовательно, являются наиболее молодыми.

Магматизм поздне- и посторогенной стадии развития складчатой области в рассматриваемом районе не нашел яркого и полного проявления. Отсутствие или ограниченность развития стратифицированных отложений моложе раннепалеозойских не позволяет увязать отдельные фрагментарные наблюдения и воссоздать общую схему развития магматизма. Среди пород нижнего структурного яруса на отдельных участках известны небольшие штоки граносиенитов, дайки ортофиоров, микросиенитов, фельзитов, кварцевых порфиоров, однако верхняя возрастная граница их проявления не ясна.

Установлено прорывание среднепалеозойских красноцветных отложений дайками пород основного и среднего состава, а по некоторым данным — и дайками кератофиоров и плагноаплитов. В районе наложенных впадин стадии активизации имело место излияние базальтов верхнепалеозойского или нижнемезозойского возраста.

В районе интенсивно проявились процессы гидротермального метаморфизма карбонатных пород с привнесением значительных количеств кремнекислоты. Доломиты вдоль некоторых крупных разрывных нарушений превращены во вторичные кварциты. В других случаях широко проявилось образование по доломитам карбонатно-тремолитовых, карбонатно-тальковых, кварц-тремолитовых, кварц-тальковых пород. Отмечаются также серпентинизация, волластонитизация, диопсидизация, иногда актинолитизация доломитов.

В кристаллических известняках процессы кремниевого метасоматоза в отдельных случаях имели место, но проявились несравненно слабее. Для известняков более характерны явления интенсивной перекристаллизации и осветления, протекавшие с выносом битумов и сероводорода.

В металлогеническом развитии района отчетливо выделяются две главные стадии.

С первой из них связаны рудопроявления железа, меди, свинца, молибдена, золота, размещающиеся в экзоконтактной зоне нижнепалеозойского раннеорогенного гранитоидного массива в гранат-пироксеновых и эпидотовых скарнах. Ко второй стадии относятся рудопроявления барита, киновари, золота, а также сложные по составу полиметаллические рудопроявления, приуроченные к тектоническим нарушениям поздне- или посторогенной стадий развития. В полиметаллических рудопроявлениях, наряду с основными компонентами — медью, свинцом, цинком, — отмечаются повышенные концентрации никеля, кобальта, сурьмы, серебра, золота, мышьяка.

Урановое оруденение, представленное кремнисто-нордизито-мышьяково-настурановой рудной формацией, установлено в карбонатных породах и амфиболитах нижнего структурного яруса и в прорывающих их нижнепалеозойских гранитоидах. Оруденение отчетливо подчиняется структурному контролю.

Рудные тела в кристаллических известняках имеют форму ветвящихся субпараллельных жил, сопровождающихся на отдельных участках столбобразными раздувами со штокверкоподобным строением, и локализируются в пределах одного из рудных полей в линейно-вытянутых зонах брекчирования и повышенной трещиноватости, падающих под углами 60—80 и более градусов.

В нижнепалеозойских гранитоидах урановое оруденение установлено в зонах дробления, рассекающих как эндоконтактные, так и центральные участки массива. Отдельные зоны дробления в гранитоидах, контролирующие локализацию уранового оруденения, являются прямым продолжением ураноносных зон, располагающихся в карбонатной толще (см. рис. 1).

В пределах одного из рудных полей рудовмещающими являются амфиболиты. Размещение урановорудных тел в амфиболитах в общем плане контролируется зоной надвига. В единичных случаях урановое оруденение отмечено непосредственно в шве надвига. Большинство же рудных тел приурочено к его лежащему боку. Наиболее часто оруденение локализуется в коротких пологопадающих трещинах разрывов, ориентированных перпендикулярно плоскости надвига. Распределение уранового оруденения вдоль рудоносных структур очень неравномерное, что особенно ярко видно на примере его локализации в карбонатной толще, характеризующейся в нижней своей части резкой гетерогенностью строения. На рис. 2 показан характер распределения уранового оруденения в зонах дробления, секущих различные типы пород карбонатной толщи.

Рудоконтролирующие структуры несут оруденение практически только в пачках кристаллических известняков. При переходе в доломиты и кварциты структуры затухают, оруденение исчезает. Вблизи пачек доломитов и кварцитов, вдоль контактов с ними кристаллические известняки наиболее интенсивно раздроблены, что обуславливает возникновение на этих участках рудных столбов, имеющих штокверкоподобное или брекчиевидное строение. Дайки основного и среднего состава рассекаются рудоконтролирующими структурами и несут урановое оруденение в тех случаях, когда они имеют сравнительно небольшую мощность и располагаются в кристаллических известняках. Такие особенности распределения рудоносных трещин, очевидно, обусловлены физическими свойствами рудовмещающих пород и в первую очередь способностью их к раскалыванию и дроблению при проявлении тектонических напряжений.

Недостаточно ясным остается вопрос о возможном литохимическом контроле оруденения. В этой связи можно лишь отметить, что значительная часть урановорудных тел выявлена в тектонических зонах среди сероводородистых кристаллических известняков, а также в карбонатизированных и цеолитизированных амфиболитах.

Изучение вещественного состава руд свидетельствует о том, что состав рудовмещающих пород не оказывал существенного влияния на минерально-парагенетические ассоциации ураноносных тел. Наиболее типоморфной является ассоциация кремневидный кварц — настуран — нордизит — самородный мышьяк при подчиненной роли сульфидов. Содержания нордизита и самородного мышьяка в рудах сильно колеблются и нередко либо один, либо другой из них отсутствуют. В то же время на фланге рудоконтролирующих структур, в отрыве от участков с урановым оруденением встречаются жилы крупнокристаллического розового кальцита с обильным самородным мышьяком иногда в виде крупных выделений с характерной почковидной текстурой.

Имеются данные для одного из рудных полей о стадийности рудообразования. Отмечается, что в первую (раннюю) стадию образовались сульфидно-кварцевые жилы, в составе которых преобладает кварц при сравнительно широком развитии сульфидов (пирита, халькопирита, арсенопирита, марказита, пирротина, сфалерита, галенита, молибденита и блеклой руды). К образованиям второй стадии относятся сульфидно-карбонатные жилы. В составе жил преобладает карбонат. Из сульфидов присутствуют пирит, халькопирит, арсенопирит, молибденит. В прожилках белого кальцита отмечается марказит и реальгар.

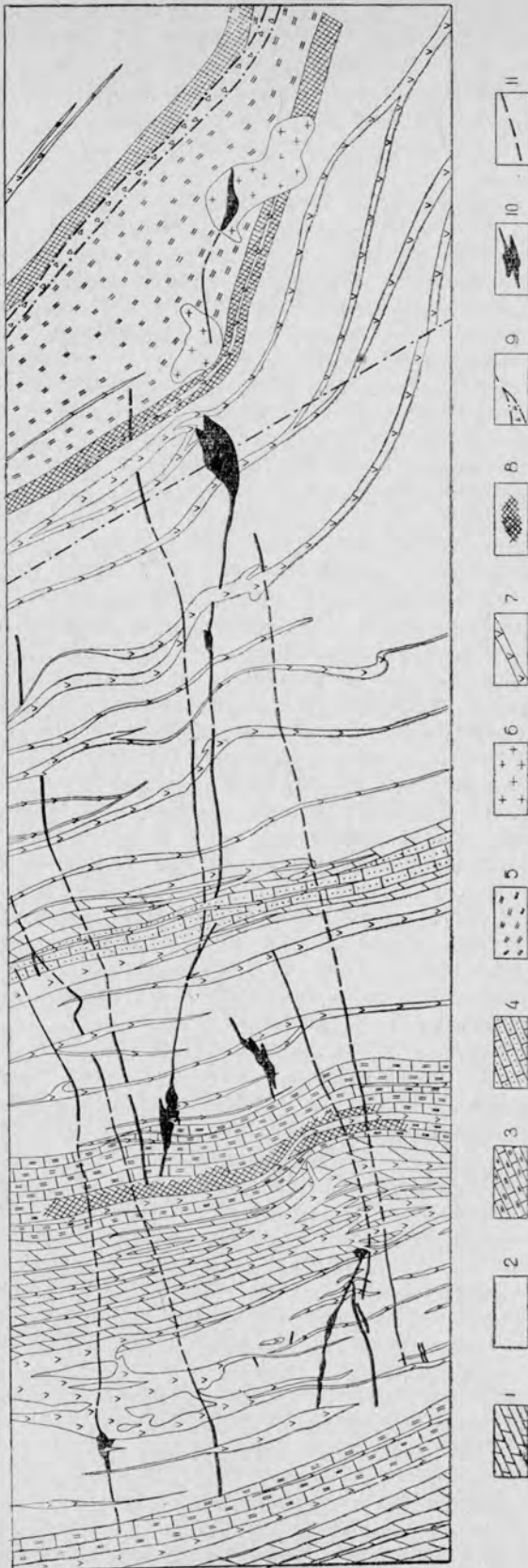


Рис. 2. Распределение уранового оруденения в кремнисто-карбонатной толще.

1 — доломиты серые, часто осветленные, массивные, иногда неомоложенные, тремолитизированные, серпентинизированные и диопсидизированные; 2 — кристаллические известняки светло-серые, серые, белые, в основном грубообломчатые, иногда массивные или тонкообломчатые мелко- и крупнозернистые сероводородистые; 3 — кристаллические известняки серые, темно-серые, светло-серые (до белых), зеленовато-серые, кремово-серые, четкостолстые тонкозернистые, часто кремнистые, с прослойками кварцитов, скарированные и интенсивно пиритизированные; 4 — углеродистые известняки черные, массивные, тонкозернистые; 5 — кварциты серые, светло-серые, темно-серые (до черных), буроватые и кремово-серые, массивные и полочатые тонкозернистые, сильно пиритизированные; 6 — граниты буровато-розовые и кирпичной окраски, от аплитовидных до аляскитовых пегматитов; 7 — дайки порфиритов, диабазов, спессартигов; 8 — участки разветвляющихся и гранат-диопсидовых скарнов; 9 — зоны дробления и расщепления; 10 — урановые тела; 11 — участки рудоконтролирующих структур со слабо проявленным урановым оруденением.

К образованиям третьей стадии относятся кремнисто-карбонатные прожилки с настураном, нордизитом и самородным мышьяком. Состав их непостоянен; встречаются мономинеральные прожилки настурана и самородного мышьяка или прожилки, выполненные (в разном количественном сочетании) кварцем, карбонатом, настураном, самородным мышьяком при подчиненной или незначительной роли пирита, сфалерита, марказита, блеклой руды, галенита, никелина, реальгара и аурипигмента.

Следует, однако, отметить, что вопрос об отнесении указанных образований к последовательным стадиям единого этапа рудообразования нельзя считать окончательно решенным, так как ураноносный район характеризуется разнообразной рудной минерализацией, возможно, относящейся к относительно сближенным во времени, но разным этапам. Для района одного из месторождений характерно, например, проявление таких минерально-парагенетических ассоциаций, как: 1) барит, кальцит, киноварь; 2) барит, кальцит, киноварь, золото; 3) барит, кварц, киноварь; 4) халькопирит, блеклая руда, пирит, киноварь, энаргит. В другом случае отмечается пространственная сближенность урановорудных зон с зонами, контролирующими локализацию кварцевых жил с галенитом и сложного по составу золото-полиметаллического оруденения (жилы блеклых руд с золотом, борнитом, арсенопиритом, галенитом, обильными арсенатами меди, никеля, кобальта).

В рудах наблюдается несколько морфологических разновидностей настурана, отличающихся по форме выделений и сопровождающихся различными парагенетическими ассоциациями минералов:

1. Тонкозернистые, колломорфные агрегаты, неравномерно распределенные в кремнисто-карбонатном цементе рудной брекчии и образующие в основном сетчатую или интерстициальную структуру выделения. Для настурана этой разновидности особенно характерна тесная ассоциация с нордизитом. Последний образует с настураном субмикроскопические взаимные прорастания. Сульфиды наблюдаются в виде беспорядочной вкрапленности или концентрируются вдоль трещин дегидратации.

2. Настуран, развитый по нерудным (в основном карбонатным) обломкам и образующий сетчатую структуру выделения или «обволакивающий» отдельные минеральные зерна и целые агрегаты. При этом наблюдается венчиковая структура.

3. Выделения настурана прожилковой формы, наблюдающиеся в основном вдоль контактов карбонатно-кремнистых рудных прожилков. Здесь настуран, часто вместе с самородным мышьяком, образует гроздевидные сростания. Отмечаются также прожилки с отчетливо выраженной ритмической структурой, представленные настураном, самородным мышьяком, блеклой рудой, пиритом и иногда нордизитом.

4. Настуран, распределяющийся не только в цементе рудной брекчии, но также входящий в состав обломков относительно ранней брекчии (возможное следствие неоднократного брекчирования в процессе формирования оруденения).

5. Настуран, образующий мономинеральные тонкие взаимопересекающиеся прожилки в трещинках мраморизованных известняков.

Руды практически не содержат тория. Спектральными анализами в них устанавливается присутствие Mn, Ni, Co, Ti, V, Mo, As, Zr, Cu, Pb, Si, Ba. Содержания Mn колеблются в основном в пределах 0,1—0,2%, Ti — от 0,1 до 0,6%, Zr, Sr, Ba отмечаются в количестве от первых сотых до одной десятой доли процента, Cu и Pb содержатся в количестве первых тысячных — первых сотых долей процента. Молибден, присутствие которого в основном обусловлено наличием в рудах нордизита и молибденита, отмечается в количестве первых сотых долей процента, реже первых десятых долей процента. Обычно наличие в рудах

мышьяка, который, как отмечалось, чаще всего присутствует в самородном виде. В отдельных пробах устанавливаются примеси Be (от следов до 0,006%), Zn (до 0,03%), Sn (0,001—0,003%), редко Ag, Sb, Y, Yb. Постоянным спутником рудообразующего минерального комплекса является органическое вещество, содержание которого определяется сотыми, реже десятыми долями процента.

Околорудные изменения в случае локализации рудных тел в карбонатных породах практически не проявлены. Рудовмещающие амфиболиты вблизи рудных тел осветлены в полосе шириной в первые метры в связи с развитием карбонатов и цеолитов. Гранитоиды в пределах рудоносных зон подвергаются сравнительно интенсивной карбонатизации (железисто-магнезиальный карбонат), а также серицитизации, хлоритизации, окремнению.

Установленная глубина распространения рудных тел от уровня современного эрозионного среза достигает 1000 м и, вероятно, не является предельной. Существенного изменения характера оруденения с глубиной не намечается.

По данным радиологических определений возраста настурана образование рассматриваемой урановорудной формации относится, вероятно, к мезозойскому времени.

Относительно условий образования и происхождения уранового оруденения рассматриваемого типа высказывались различные предположения. Представлению о возможной парагенетической связи оруденения с позднеорогенным среднепалеозойским магматизмом противоречат приведенные выше данные о мезозойском или более молодом возрасте оруденения, получающие и косвенные геологические подтверждения. Существует представление о возможном гипергенном генезисе оруденения. Устанавливается, что в позднемезозойское — раннекайнозойское время в районе господствовал жаркий влажный климат, в условиях которого происходило интенсивное химическое выветривание. Это обстоятельство позволяет некоторым исследователям полагать, что решающими факторами в образовании оруденения кремнисто-иордизито-мышьяково-настурановой формации могли явиться гипергенные процессы, обусловившие вынос урана из гранитов и урансодержащих углеродистых сланцев и переотложение его в виде рудных концентраций в благоприятных геологических обстановках.

Более распространенной является точка зрения о связи оруденения с относительно молодой, возможно, мезозойской гидротермальной деятельностью стадии посторогенной тектоно-магматической активизации, хотя, как было показано выше, пока нет достаточно надежных данных о проявлении мезозойского магматизма (за исключением излияний базальтов в наложенных мезозойских впадинах), близкого по времени периоду рудообразования. В данном случае важную роль в установлении генетического типа оруденения играют металлогенические критерии.

Изложенные выше данные показывают, что рассматриваемый район является частью структурно-металлогенической зоны, характеризующейся широким проявлением низкотемпературного близповерхностного оруденения (барит, золото, киноварь, сурьма, самородный мышьяк, полиметаллы и др.), свойственного зонам тектоно-магматической активизации. Для некоторых из них характерно урановое оруденение такого же типа, как и в рассмотренном нами случае, — кремнисто-настурановая, кремнисто-мышьяково-настурановая урановорудные формации (см. табл. 1).

Урановое оруденение не может рассматриваться изолированно от других пространственно связанных с ним рудных минерально-парагенетических ассоциаций гидротермального типа и, вероятно, является

составной частью сложного процесса рудообразования в стадию тектоно-магматической активизации района.

Распространение оруденения на большую глубину и четкий структурный контроль его локализации также являются важными доводами в пользу эндогенного происхождения руд.

Из геохимических особенностей следует подчеркнуть присутствие в рудах таллия — характерного элемента-спутника урана во многих типично гидротермальных низкотемпературных близповерхностных месторождениях урана.

***Гидротермальные средне-низкотемпературные  
близповерхностные месторождения урана  
в зонах тектоно-магматической активизации  
древних срединных массивов и их складчатого обрамления***

Этот тип месторождений характеризуется совместным наличием сульфидно-арсенидно-настурановой (пятиэлементной), сульфидно-настурановой, карбонатно-кварцево-настурановой, карбонатно-настурановой формаций, причем не только в пределах единых рудных районов и полей, но и в близком расположенных жилах и участках жил отдельных месторождений.

Провинцией классического проявления данного типа месторождений является герцинская складчатая область, для которой характерно наличие древних срединных массивов. В пределах этой области позиция урановорудных районов в первую очередь определяется положением зон тектоно-магматической активизации, наложенных как на структуры древнего срединного массива, так и на структуры его складчатого обрамления. Древний срединный массив в современной структуре представляет собой весьма сложный горстообразный блок эпигерцинской платформы, имеющий площадь более 50 000 кв. км. Он ограничен крупными региональными зонами долгоживущих разломов, ориентированных в северо-западном и северо-восточном направлениях. Консолидация срединного массива произошла в предпозднепротерозойское время, когда оформились основные черты его структурного плана. Породы архея и раннего протерозоя в это время претерпели интенсивный региональный метаморфизм и гранитизацию и превратились в гнейсы, мигматиты и гранулиты. С позднего протерозоя срединный массив характеризуется преобладающей тенденцией к поднятию и малой подвижностью, следствием чего явились ограниченность развития в его пределах и слабый метаморфизм отложений палеозойского возраста.

Важной структурой второго порядка является внутренний прогиб северо-восточного простирания, заложенный в позднем протерозое и выполненный дислоцированными в продольные складки слабометаморфизованными осадочными и вулканогенными породами от позднего протерозоя до девона включительно. Крупные площади в пределах древнего срединного массива занимают многофазные интрузии гранитоидов, внедрившиеся главным образом в позднем палеозое (ранний карбон — пермь) вдоль основных структурных швов краевых и центральной частей массива.

Область складчатого обрамления древнего срединного массива характеризовалась в отличие от самого срединного массива весьма значительной подвижностью в палеозое. Это выразилось в широком развитии палеозойских осадочных и вулканогенных формаций, большой их мощности, интенсивном проявлении каледонских и особенно герцинских тектонических движений и региональном метаморфизме пород. Здесь развиты метаморфизованные и дислоцированные геосинклиналь-

ные толщи (вулканогенные, флишеподобные, карбонатные и песчано-сланцевые), относящиеся к верхнему протерозою, кембрию, ордовику, силуру, девону и нижнему карбону.

Консолидация складчатой области происходила в позднем палеозое (верхний карбон—нижняя пермь). Для этого времени характерно затухание тектонических движений и образование наложенных (позднеорогенных) впадин, выполненных молассовыми и угленосными отложениями.

Платформенный чехол (верхняя пермь—неоген) покрывает обширные пространства региона, выполняя весьма пологие прогибы. В современной структуре срединный массив и его складчатое обрамление сочленяются по системам долгоживущих краевых разломов, с которыми связано образование третичных угленосных грабен и обширных полей вулканических покровов и даек щелчного состава.

Зоны тектоно-магматической активизации, имеющие прямое отношение к распределению уранового оруденения, возникли в период посторогенного развития складчатой области, в самом конце позднего палеозоя. Процессы активизации проявились не повсеместно на территории складчатой области, а строго в пределах сравнительно узких (десятки километров) и протяженных (первые сотни километров) зон, секущих срединный массив и его обрамление.

К проявлениям активизации в пределах этих зон относится образование систем крупных продольных региональных разломов и сопряженных с ними разрывов, подновление некоторых ранее существовавших систем нарушений, внедрение вдоль крупных разломов гранитоидных интрузий и даек, а также интенсивное и многостадийное рудообразование. Указанные новообразования проявляются неравномерно вдоль зон тектоно-магматической активизации. В общем плане максимумы активизации приурочены к областям сопряжения крупных и разнородных структурных элементов герцинской складчатой области, а геологические образования стадии активизации наиболее хорошо выражены в пределах нижних структурных ярусов. Так, зоны активизации наиболее отчетливо проявлены в области сопряжения древнего срединного массива и северо-западного фрагмента его складчатого обрамления, где широко развиты породы верхнего протерозоя и основания разреза палеозоя. Здесь структуры активизации образуют протяженные зоны сближенных региональных разломов и контролируемых ими интрузий, ориентированные вкост простирания как герцинских складчатых структур, так и линии сочленения их с древним срединным массивом. Эти участки зоны активизации наиболее насыщены эндогенными рудными образованиями, в том числе и урановыми месторождениями.

Достаточно ясно зона тектоно-магматической активизации проявлена также в краевой части внутреннего наложенного прогиба, в пределах центральной части древнего срединного массива. Здесь она фиксируется системами разрывов, секущими складчатые структуры протерозоя и нижнего палеозоя, полями даек, мелкими гранитоидными массивами, которые, по всей вероятности, являются апофизами крупных нескрытых интрузий, а также, как и в первом случае, многочисленными проявлениями эндогенной минерализации.

В породах верхних структурных ярусов палеозоя зоны активизации проявляются, как правило, слабо. На этом стратиграфическом и эрозионном уровне крупные региональные разломы, выраженные в нижних ярусах мощными зонами дробления, проявляются повышенной трещиноватостью и кулисообразными разрывами с малыми амплитудами перемещений, а также дайками. Гранитоидные интрузии, трассирующие зоны активизации в породах нижних структурных этажей, на этом уровне обычно не вскрыты, а рудные месторождения на доступных глубинах редки или отсутствуют.

К участкам наиболее интенсивного проявления тектоно-магматической активизации приурочены многочисленные урановые месторождения. При этом металлогенические ассоциации, в связи с которыми проявляется урановая минерализация, в различных частях зон активизации различны. В районах северо-западного фрагмента складчатого обрамления древнего срединного массива урановое оруденение пространственно ассоциирует с олово-вольфрамовой, золоторудной, полиметаллической и сложной никель-кобальт-висмут-серебряной минерализацией, в краевой части древнего срединного массива — с сульфидно-полиметаллической, а на фланге внутреннего прогиба в центральных частях срединного массива — с золоторудной, полиметаллической и реже сурьмяно-ртутной минерализацией.

Ниже будут рассмотрены особенности месторождений урана, находящихся: 1) в области сопряжения срединного массива и его обрамления (в пределах складчатого обрамления и в краевой части срединного массива), 2) в центральной части срединного массива.

**Урановые месторождения области сопряжения срединного массива и его обрамления.** Месторождения в пределах складчатого обрамления. Урановорудный район располагается в пределах фрагмента складчатого обрамления срединного массива и сложен в различной степени метаморфизованными осадочными и вулканогенными породами верхнего протерозоя, нижнего и среднего палеозоя. Породы смяты в складки, среди которых значительное развитие имеют обширные куполовидные сводовые поднятия овальных очертаний с ядром, поднятым во взбросам, а также мульды, переходящие в грабены. Купола и мульды осложнены складками более высоких порядков и разрывами. Простирающие оси складок северо-восточное, параллельное ограничению древнего срединного массива. Возникновение крупных куполовидных сводовых поднятий связывается с внедрением в позднем палеозое крупных многофазных гранитоидных интрузий.

В центральной части куполовидных и антиклинальных складок обнажаются протерозойские метаморфические породы: слюдяные кристаллические сланцы, орто- и парагнейсы, амфиболиты, гранулиты. На метаморфических породах залегают мощные толщи кембрия—ордовика—силура, в составе которых развиты разнообразные сланцы (графитовые, филлитовые, графитовые, кварц-серицитовые, кварц-биотитовые, углистые, хлорит-серицитовые и др.), метаморфизованные песчаники и известняки, кварциты, измененные вулканогенные породы (спилиты, диабазы), превращенные в амфиболиты.

Широко развиты различно ориентированные и разновозрастные тектонические нарушения типа сбросов, взбросов и пр.

Палеозойские складчатые структуры северо-восточного направления рассечены системой крупных поперечных разломов, контролирующей размещение интрузий гранитов и многочисленных сближенных урановорудных полей (зона активизации). Граниты обнажаются среди пород протерозоя и палеозоя в виде цепочек вытянутых в северо-западном направлении массивов, имеющих площадь выхода от единиц и первых десятков до сотен квадратных километров. Эти отдельные выходы гранитоидов представляют собой в некоторых случаях выступы или купола крупных не вскрытых эрозией интрузивных тел, сопровождающихся широким ореолом контактовых изменений во вмещающих породах. Разнообразные сланцы в зоне контактового метаморфизма превращены в пятнистые роговики и кварциты, а карбонатные породы скарнированы.

Район характеризуется широким развитием позднегерцинской гидротермальной минерализации, находящейся в тесной пространственной связи с гранитоидами. Многочисленными являются олово-вольфрамовые месторождения (грейзеновые зоны и жилы), полиметаллические

серебросодержащие месторождения, урановые месторождения, а также месторождения флюорита и барита. Месторождения урана в пределах зоны активизации контролируются крупными разломами северо-западного простирания и обнаруживают отчетливую пространственную связь с интрузиями гранитоидов. При этом большая часть месторождений локализуется в сравнительно узкой экзоконтактовой зоне интрузий или в останцах их кровли в породах, подвергшихся контактовому воздействию интрузивных масс. В единичных случаях урановые месторождения размещаются в гранитах.

*Месторождения урана в экзоконтактовых зонах гранитоидных интрузий.* Большая группа месторождений рассматриваемого типа располагается в экзоконтакте крупного позднепалеозойского массива гранитоидов, вытянутого в северо-западном направлении. Массив имеет с породами кровли весьма пологий контакт, осложненный многочисленными выступами—куполами, вытянутыми вдоль разломов северо-западного простирания. Многие из этих куполов представляют собой штоки более молодых, но также позднепалеозойских гранитов, внедрившихся в пределы крупного массива по разрывам северо-западного направления.

Гранитоиды крупного интрузивного массива представлены нормальными крупнозернистыми (часто порфирированными) биотитовыми гранитами. В отличие от них более молодые интрузии (штоки) сложены пересыщенными кремнеземом, калиевыми двуслюдяными гранитами (лейкократовыми, аляскитовыми), для которых весьма характерны процессы грейзенизации и повышенные содержания лития, бора, фтора, олова, урана, а также бериллия, вольфрама, германия, таллия, скандия.

Структура молодых гранитов преимущественно порфиридная.

И более древние, и более молодые граниты являются позднепалеозойскими, а разрыв во времени их формирования, по данным определения абсолютного возраста, составляет около 90 млн. лет.

Кровля нескрытой части крупного гранитоидного массива, прорезанная штоками лейкократовых гранитов, сложена смятыми в пологие складки (купола, брахисинклинали) породами верхнего протерозоя, кембрия, ордовика — разнообразными метаморфическими сланцами и амфиболитами, среди которых распространены прослойки и пачки скарированных пород. Гранитоиды сопровождаются ореолом контактовых изменений во вмещающих породах (скарнирование, ороговикование, пиритизация и пр.) шириной 500—900 м.

Породы экзоконтактовой зоны разбиты серией нарушений различных направлений, среди которых выделяются наиболее крупные поперечные к простиранию складок разломы северо-западного направления, контролирующие размещение штоков молодых гранитов.

Рудные поля и месторождения урана, располагаясь в пределах зоны контактово-измененных пород, обнаруживают тесную пространственную связь с цепочками штоков молодых гранитов и локализируются на участках максимального развития разрывных нарушений. При этом, несмотря на наличие нескольких разновозрастных и различно ориентированных систем разрывов, урановое оруденение встречается лишь в системе многочисленных крутопадающих трещин, ориентированных вкрест направления складчатости и сопряженных с рудоконтролирующими региональными разломами северо-западного простирания.

Системы рудовмещающих тектонических нарушений образованы пучками сближенных крутопадающих разрывов, оперяющих или сопровождающих крупные разломы (сбросы) северо-западного простирания. При этом такие разрывные нарушения, как мощные сбросы, взбросо-сдвиги, большей частью не несут оруденения. Минерализованными являются нарушения более высоких порядков, трещины разрыва и ска-

тивания, представляющие собой тонкие тектонические швы, выполненные глиной притирания и мелкими обломками вмещающих пород.

Влияние структурного фактора на локализацию урановой руды большей частью проявляется на фоне благоприятного для рудоотложения состава пород. Рудные жилы наиболее богаты на тех участках, где они пересекают пачки амфиболовых, биотитовых, пиритизированных или содержащих органическое вещество пород — амфиболовые сланцы и парагнейсы, амфиболиты, глинисто-углистые, кварц-графитовые и кварц-биотитовые сланцы. На некоторых месторождениях наиболее благоприятной средой для рудоотложения являются скарны.

В размещении уранового оруденения большую роль зачастую играют послонные пологие нарушения, развивающиеся вдоль контактов пород с разными физико-механическими свойствами. На пересечении с ними в крутопадающих жилах размещаются рудные столбы и линзы.

Вблизи интрузий гранитов и ряда жильных пород (аплиты, гранито-гнейсы и др.) оруденение или становится беднее или исчезает, а рудовмещающие трещины часто затухают.

*Месторождения урана в гранитах.* Урановые месторождения в пределах складчатого обрамления срединного массива лишь в единичных случаях размещаются в гранитах. Месторождения контролируются теми же системами разрывных нарушений, что и близлежащие месторождения в экзоконтактных зонах интрузий, но отличаются некоторыми особенностями локализации урановых руд. Район одного из таких месторождений располагается в крыле крупной пологой мульды, сложенной однообразной толщей филлитов (серицит-хлорит-кварцевых сланцев) ордовика. Породы ордовика прорваны интрузивами порфиroidных гранитов, которые в свою очередь, как и вмещающие их породы, рассечены дайками лампрофиров и гранит-порфиroidов. В контакте с гранитами сланцы ордовика превращены в роговики.

Параллельно контакту гранитов в сланцах проходит крупное нарушение северо-западного простираания, контролирующее положение урановых месторождений, располагающихся в экзоконтактной зоне интрузии. Под прямым углом к этому нарушению причленяется близширотный разлом (зона брекчирования с кварц-топазовым цементом), на продолжении которого располагается месторождение урана в гранитах. Месторождение приурочено к эндоконтакту интрузивного массива, сложенного розовыми порфиroidными биотитовыми гранитами. Две системы трещин близширотного и северо-западного простираания, вмещающих дайки лампрофиров и рудные жилы, образуют штокверковую зону, в пределах которой граниты подверглись интенсивным гидротермальным изменениям. В наиболее глубоких частях месторождения граниты интенсивно грейзенизированы, выше они серицитизированы, а еще выше проявлены хлоритизация и альбитизация, сопутствующие отложению различных минеральных ассоциаций в жильных трещинах, в том числе и кварц-настурановой.

По падению жильные трещины ветвятся, в связи с чем количество рудных жил с глубиной увеличивается. При переходе в зону серицитизированных гранитов мощность жил уменьшается, а рудоносность резко падает. На более глубоких горизонтах жильные трещины превращаются в пучки тонких проводников и далее, в зоне грейзенов, выклиниваются.

В участках сопряжения трещин различных направлений, а также трещин и даек в пределах верхней части штокверка располагаются рудные столбы.

Кроме рудных тел жильной формы, иногда встречаются вкрапленные настурановые руды, образовавшиеся путем замещения кварца гранитов.

*Месторождения в краевой части срединного массива.* Зона активизации выходит за пределы структур складчатого обрамления и рассекает краевую часть срединного массива, сохраняя свои основные особенности.

Краевая часть срединного массива мало отличается по своему строению от сопредельных участков складчатого обрамления, сложенных наиболее метаморфизованными породами верхнего протерозоя, которые обнажаются в ядрах куполов. Отличием является лишь большая степень метаморфизма и гранитизации пород; в краевой части древнего срединного массива развиты главным образом разнообразные гнейсы, мигматиты, амфиболиты, кварциты. Метаморфические породы рассеяны крупными разломами северо-западного направления и прорваны интрузиями гранитоидов, представляющими продолжение уже описанной ранее цепочки, секущей структуры складчатого обрамления.

Условия локализации уранового оруденения в этом случае подобны уже описанным.

В отличие от районов складчатого обрамления, месторождения урана в краевой части древнего срединного массива пространственно ассоциируют лишь с мелкими сульфидно-полиметаллическими месторождениями.

*Морфология рудных тел, вещественный состав руд и околорудные изменения вмещающих пород.* Для месторождений урана области сопряжения древнего срединного массива и его складчатого обрамления являются общими не только основные особенности размещения оруденения, но и особенности морфологии рудных тел, вещественного состава руд и гидротермальных изменений боковых пород.

Морфологические особенности и размеры рудных тел в месторождениях описываемого типа определяются параметрами и особенностями тех нарушений, к которым они приурочены. В частности, наиболее распространены являются жилы двух типов: а) сложные жилы, залегающие в зонах дробления с дорудной брекчией и глинками трения; б) относительно простые жилы, представляющие заполненные жильным материалом открытые трещины. Простые жилы являются основным типом рудных жил месторождений.

Распределение урана в жилах крайне неравномерное. Урановые минералы образуют скопления в виде плоских линз различной формы и величины. Под влиянием структурного и литологического факторов контроля рудные линзы группируются в рудные столбы.

Вещественный состав рудных жил этого типа месторождений весьма разнообразен и часто различен в пределах одного месторождения, рудного узла или жильной системы. Причиной такого многообразия является многостадийность рудного процесса и явления совмещения в пространстве производных разных стадий минерализации (явления внутривильного метасоматоза и телескопирования).

Урановорудные жилы формировались в результате по меньшей мере двух последовательных стадий минерализации. В течение первой стадии образовались широко развитые сравнительно простые по составу и морфологии карбонатные и кварц-карбонатные (доломит, кальцит, гребенчатый кварц, а также флюорит) жилы с настураном и подчиненным количеством сульфидов (карбонатно-настурановая и карбонатно-кварцево-настурановая формации). В течение второй стадии минерализации (или нескольких последующих стадий), проявившейся как обособленно, так и в пределах жил первой стадии, отложился обширный комплекс минералов: доломит, барит, сидерит, флюорит, арсениды и диарсениды никеля и кобальта, самородные висмут и серебро, сульфиды меди, цинка, свинца и пр. Совмещение в пространстве продуктов первой и последующих стадий минерализации привело к образованию жил сложного минерального состава, относимых к таким рудным фор-

мациям, как сульфидно-арсенидно-настурановая и сульфидно-настурановая.

На ряде месторождений проявляется вертикальная внутрижильная зональность, причем в верхней зоне отмечаются существенно серебряные руды, а в нижней — никель-кобальт-висмутовые. Настуран присутствует в обеих зонах и иногда распространяется на большие глубины, образуя почти мономинеральные руды.

Руды сложного минерального состава более характерны для месторождений складчатого обрамления и менее для окраины древнего срединного массива. Для многих месторождений этого типа отмечается тесная связь уранового оруденения с флюоритом темно-фиолетовой окраски.

Околорудные гидротермальные изменения вмещающих пород обычно проявляются в узкой зоне зальбандов ураноносных жил, не превышающей нескольких десятков сантиметров. Наиболее характерным изменением является гематитизация пород. Кроме того, в зависимости от состава пород развиты хлоритизация, серицитизация, окварцевание, альбитизация. Для месторождений в гранитах наиболее характерны хлоритизация, серицитизация и альбитизация.

В пределах единых полей наряду с урановой минерализацией размещаются производные более ранних (доурановых) стадий минерализации (олово-вольфрамовой, полиметаллической и пр.).

При этом весьма примечательно, что урановая минерализация, как правило, локализуется в обособленной системе трещин. В отличие от ураноносных жил, имеющих северо-западное и меридиональное простирание, более ранние жилы с олово-вольфрамовой и сульфидной полиметаллической минерализацией размещаются в трещинах северо-восточного и широтного направления.

**Урановые месторождения центральной части срединного массива.** Рудный район располагается в центральной части древнего срединного массива на фланге внутреннего наложенного прогиба. Прогиб ориентирован в северо-восточном направлении и выполнен дислоцированными в продольные складки слабометаморфизованными осадочными и вулканогенными породами от верхнего протерозоя до девона включительно.

Вдоль юго-восточного фланга прогиба, отделяя его от поля развития метаморфических пород срединного массива, протягивается крупный многофазный гранитоидный плутон, внедрившийся в позднем палеозое вдоль зоны долгоживущих региональных разломов северо-восточного простирания.

Плутон имеет сложное строение, причем в его составе выделяются как более ранние фазы, представленные гнейсовидными гранодиоритами, сиенитами, габбро-диоритами, так и более поздние, образованные порфирировидными равномернозернистыми биотитовыми и роговообманково-биотитовыми адезеллитами, гранодиоритами, кварцевыми диоритами и гранитами. Наиболее поздние интрузивные породы (гранодиориты) развиты в примыкающей к рудному полю части плутона, а также образуют небольшие тела, вытянутые в северо-западном направлении и секущие породы протерозоя и нижнего кембрия в пределах рудного поля.

Многочисленные дайки и более поздние гидротермальные жильные образования располагаются среди гранитоидов и вмещающих их осадочных пород в трещинах различных порядков, оперяющих крупные разрывы.

Район характеризуется развитием позднепалеозойской золоторудной, полиметаллической (с серебром), урановой и сурьмяно-ртутной гидротермальной минерализации, в распределении которой наблюдается определенная зональность. Вдоль гранитного плутона, охватывая его эндо- и экзоконтактные части, располагается широкая зона развития

золоторудной минерализации, которая постепенно затухает по удалении от плутона. Несколько далее, в зоне экзоконтакта, располагается зона полиметаллического оруденения и далее всего от контакта — зона сурьмяно-ртутного оруденения.

Зональность усложняется взаимным перекрытием соседних зон и наложением сурьмяной минерализации на золоторудную зону. Урановая минерализация распространена главным образом в экзоконтактовой зоне плутона, тяготеет к участкам наиболее интенсивного проявления разрывных нарушений и часто накладывается на существенно карбонатные жилы с полиметаллической, а также золоторудной минерализацией.

Вероятнее всего, позднепалеозойские интенсивные тектоно-магматические и минерагенические процессы, характерные для рудного района, следует относить к явлениям активизации. Эти процессы наложены на уже сформированные структуры древнего срединного массива и его внутреннего прогиба и значительно (на 100—120 млн. лет) оторваны во времени от периода формирования последнего. Активизация внутренних частей древнего массива, по-видимому, близка по времени проявлению активизации в области сопряжения его с палеозойским складчатым обрамлением.

Основные направления структур активизации являются общими для указанных районов. При этом не исключена возможность существования единой трансрегиональной зоны активизации северо-западного простирания (или ряда параллельных зон), пересекающей древний срединный массив и его складчатое обрамление и контролирующей размещение магматических пород и разнообразной, в том числе урановой, минерализации.

В пределах зоны активизации существенному подновлению подверглись крупные разрывные структуры более раннего заложения, имеющие по отношению к зоне различную ориентировку. Эти нарушения, как и продольные новые разломы, играют важную роль в качестве рудоконтролирующих структур.

Наиболее крупное урановорудное поле района располагается в экзоконтактовой зоне гранитоидного плутона, прорывающего смятые в складки породы верхнего протерозоя и нижнего кембрия. Толща верхнего протерозоя разделяется на две мощные свиты: нижнюю, вулкано-генно-осадочную, и верхнюю, песчано-сланцевую. Урановое оруденение размещается главным образом в породах верхней свиты, для которых характерны слабый метаморфизм, наличие тонкорассеянного углистого вещества и вкрапленности сульфидов железа. Толща верхнего протерозоя с угловым несогласием перекрыта породами нижнекембрийского возраста, представленными кварцевыми и полимиктовыми песчаниками и кварцевыми конгломератами.

В ореоле контактовых изменений гранитоидного массива сланцы и песчаники превращены в роговики.

В пределах рудного поля отчетливо проявляется общая линейность и единая ориентировка наиболее крупных структурных элементов — оси складок в породах верхнего протерозоя и нижнего кембрия, крупнейшие разрывные нарушения и контакт гранитоидного плутона имеют северо-восточное простирание.

Главной складчатой структурой рудного поля является протяженная антиклинальная складка асимметричного строения, ядро которой сложено породами рудовмещающей песчано-сланцевой свиты верхнего протерозоя. Крылья главной антиклинали осложнены рядом более мелких параллельных складок. В сводовой части складка разбита крупным продольным разломом (взброс), а юго-восточное крыло ее интродуцировано гранодиоритами плутона, контакт которого имеет юго-восточное падение, несколько более крутое, чем падение вмещающих по-

род. Морфология контакта интрузии, несмотря на общее выдержанное северо-восточное его простираение, сложная, характеризующаяся большим числом апофиз. Предполагается, что гранодиориты залегают и на глубине 2—3,5 км от поверхности, причем контакт их является пологим и они как бы подстилают площадь рудного поля.

Структура рудного поля, а соответственно и главные особенности локализации оруденения определяются совокупностью следующих основных структурных элементов: 1) антиклинальной складки северо-восточного простираения в породах протерозоя, располагающейся в экзо-контакте гранитоидной интрузии; 2) крупного продольного разлома, рассекающего сводовую часть антиклинальной складки; 3) нескольких разноориентированных систем более мелких, но достаточно протяженных разрывных нарушений разных порядков, сопряженных или ассоциирующих с главным разломом и располагающихся в сводовой части антиклинали и ее юго-восточном крыле.

По отношению к месторождениям урана, а также полиметаллическим месторождениям единого рудного поля указанный крупный разлом является рудоконтролирующей структурой. Сам разлом минерализован слабо и промышленного уранового оруденения не содержит.

Большая часть урановых месторождений рудного поля располагается в пределах сводовой части и юго-восточного крыла главной антиклинали и сконцентрирована в узкой и протяженной полосе между рудоконтролирующим разломом (в его лежащем боку) и массивом гранитоидов.

В пределах месторождений минерализованными являются нарушения близмеридионального, северо-западного и северо-восточного направлений. Они распределены неравномерно и образуют отдельные жильные узлы, представляющие собой совокупность пространственно сближенных жил одного или нескольких направлений.

Пространственное положение жильных узлов обусловлено определенными структурными факторами, к которым в первую очередь относятся морфологические усложнения рудоконтролирующего разлома и главной антиклинали. Жильные узлы приурочены к участкам изменения простираения и падения разлома, к его разветвлениям, к участкам резкого изменения ориентировки оси антиклинали (воздымания, погруднения, изменения простираения).

Морфология рудных жил определяется их положением в разрывных нарушениях разных порядков. Жилы, приуроченные к зонам более крупных нарушений, обладают сложным строением, а в мелких нарушениях и небольших апофизах наблюдаются сравнительно простые жилы.

Урановое оруденение в жилах не прослеживается непрерывно, а наблюдается лишь на отдельных участках жил в виде так называемых рудных столбов, которые представляют собой плоские тела, имеющие в плоскости жилы сложную, иногда сравнительно изометричную, а чаще удлиненную по падению или простираению форму.

Основная часть рудных столбов на месторождениях урана приурочена к тем участкам, где жилы рассекают породы песчано-сланцевой свиты верхнего протерозоя. На участках жил, где вмещающими породами являются конгломераты и песчаники нижнего кембрия, отмечены лишь отдельные, обычно бедные рудные столбы малых размеров, а в гранитах жилы уранового оруденения не содержат.

В пределах песчано-сланцевой свиты положение рудных столбов, а также рудных линз в их границах определяется главным образом сочетанием благоприятных структурных факторов и, в меньшей степени, особенностями состава вмещающих пород. Благоприятными для локализации рудных скоплений являются места сочленения жил различных порядков, контакты слоистых пород различного состава, кон-

такты слоистых пород и даек, участки морфологического усложнения жил (изгибы по падению и простиранию, ветвления, раздувы, пережимы и пр.). Наблюдается тяготение оруденения к интервалам жил, где они пересекают песчаники и сланцы, содержащие обильную вкрапленность сульфидов железа (пирита, пирротина).

*Вещественный состав руд и изменения вмещающих пород.* В пределах рудного поля развиты гидротермальные жильные образования, относящиеся к трем рудным формациям (в порядке их возрастной последовательности): кварцево-золоторудной, кварцево-сидерито-сульфидной (сереброносные полиметаллические жилы) и карбонатно-настурановой (часто с антраксолитом).

Главным жильным минералом ураноносных жил является кальцит (манганокальцит), встречающийся в виде многочисленных генераций и разновидностей. В подчиненном количестве встречаются сидерит, анкерит и доломит; в очень незначительном количестве развиты кварц и хлорит. Из рудных минералов основным является настуран, довольно часто ассоциирующий с ураносодержащим антраксолитом. Количество сульфидов (пирит, галенит, сфалерит) в жилах карбонатно-настурановой формации незначительно.

В случае совмещения в пространстве производных карбонатно-настурановой и кварцево-сидерито-сульфидной формаций минеральный состав жил отличается большим разнообразием. Кроме настурана, здесь присутствуют серебросодержащий галенит, сфалерит, местами антимонит, бурнонит. В качестве примесей встречаются самородные серебро, мышьяк, сурьма, ртуть, сульфосоли и арсениды никеля, кобальта и пр. Жильные минералы представлены сидеритом, кальцитом, анкеритом, доломитом, кварцем, а также флюоритом, баритом.

Характерным изменением вмещающих пород для кварц-золоторудных жил является хлоритизация, а для сульфидно-сидеритовых жил — серицитизация и гидрослюдизация («осветление») боковых пород. В зальбандах кальцит-настурановых жил боковые породы гематитизированы («покраснение»). Однако «покраснение» развито гораздо шире уранового оруденения и сопровождается как кальцитовые жилы (предрудная стадия), так и кальцитовые жилы с настураном. Отложению настурана сопутствуют хлоритизация и серицитизация пород.

#### *Геологические критерии и поисковые признаки*

Рассмотрение особенностей геологического строения ураноносных районов и условий локализации уранового оруденения позволяет наметить ряд геологических критериев и признаков, которые необходимо учитывать при крупномасштабных специализированных геологических съемках и поисковых работах.

1. Урановорудные районы располагаются в зонах посторогенной тектоно-магматической активизации герцинской складчатой области, характерной чертой геологического строения которой является наличие древних срединных массивов. Наиболее отчетливо активизация проявляется в двух структурных обстановках: а) в области сопряжения древнего срединного массива и его складчатого обрамления; б) в краевой части внутреннего прогиба, осложняющего древний срединный массив.

Для зон активизации характерны системы крупных региональных разломов, секущих структуры складчатой области и контролирующих цепочки дискордантных гранитоидных интрузий, поля даек различного состава и проявления разнообразной, в том числе и урановой минерализации.

В пределах зон активизации существенному подновлению подверглись крупные разрывные структуры более раннего заложения, имеющие по отношению к зоне различную ориентировку. Эти нарушения,

как и продольные новые региональные разломы, играют важную роль в качестве рудоконтролирующих и рудораспределяющих структур. В некоторых случаях (в центральной части древнего срединного массива) они проявлены более отчетливо, чем новообразования.

Зоны активизации проявляются различно на разных эрозионных уровнях (в пределах разных структурных этажей). Наиболее полно они фиксируются среди пород основания разреза складчатой области (крупные разломы, цепочки интрузий, многочисленные и разнообразные месторождения) и менее четко — в породах верхних структурных этажей герцинской складчатой области (секущие зоны трещиноватости, поперечные складки, поля даек и пр.).

2. Урановорудные поля и месторождения в пределах зон активизации контролируются крупными региональными разломами, секущими складчатые структуры, и располагаются в большинстве своем в экзоконтактных зонах гранитоидных интрузий стадии активизации (на расстоянии не более 1—1,5 км от них). В редких случаях оруденение размещается в гранитах.

3. В размещении уранового оруденения проявляется тесное сочетание структурного и литологического контроля. Вмещающими структурами являются обычно системы секущих трещин, сопряженных или ассоциирующих с рудоконтролирующими региональными разломами и имеющих, как правило, ветвистую форму. В пределах жильных узлов урановое оруденение локализуется на участках пересечения ими благоприятных горизонтов пород, богатых железисто-магнезиальными силикатами, углистым веществом, сульфидами железа.

4. В пределах единых рудных районов, полей, месторождений урановая минерализация пространственно ассоциирует с проявлениями (в том числе и промышленными месторождениями) олово-вольфрамовой, золоторудной, полиметаллической (часто с серебром), никель-кобальт-висмут-серебряной и реже сурьмяно-ртутной минерализации. При совмещении этих типов минерализации в единых жильных узлах образуются комплексные руды. Однако при поисках следует помнить, что урановая минерализация в основной своей массе обособляется от прочей минерализации и локализуется в жилах других направлений, обычно ориентированных вкост складчатых структур.

5. Для месторождений этого типа отмечается тесная, но не обязательная связь уранового оруденения с флюоритом, имеющим специфическую темно-фиолетовую до черной окраску.

6. Характерными гидротермальными изменениями вмещающих пород, сопровождающими урановое оруденение, являются гематитизация, хлоритизация, а также серицитизация, гидрослюдизация и альбитизация.

#### *Гидротермальные низкотемпературные близповерхностные урановые месторождения, связанные с субщелочными базальто-андезито-липаритовой и андезито-базальтовой формациями*

Урановые месторождения этого генетического типа представлены кремнисто-настурановой, кремнисто-мышьяково-настурановой и флюорито-иордизито-настурановой рудными формациями. Они пространственно и парагенетически связаны с субщелочными базальто-андезито-липаритовой и андезито-базальтовой вулканогенно-интрузивными формациями, проявляющимися совместно или раздельно в завершающую стадию развития подвижного пояса в пределах его геоантиклинальных зон, а также в более древних складчатых областях в связи с процессами их сводово-глыбовой перестройки и тектоно-магматической активизации.

Базальто-андезито-липаритовая формация является несколько бо-

лее древней, по сравнению с андезито-базальтовой, что устанавливается по пересечению породами последней образований базальто-андезито-липаритовой формации, по залеганию андезито-базальтовой формации на относительно более высоком стратиграфическом уровне по сравнению с субщелочной базальто-андезито-липаритовой формацией. Последняя формация имеет сложный состав и строение. Породы меняются от базальтов до липаритов, что свидетельствует об интенсивной дифференциации первичной магмы. Субщелочная андезито-базальтовая формация представлена преимущественно основными породами субщелочного и щелочного характера.

Районы развития этих формаций характеризуются наличием двух резко различающихся структурных этажей. Нижний этаж (фундамент) соответствует собственно геосинклинальному периоду развития и сложен сильно дислоцированными докембрийскими, палеозойскими и раннемезозойскими отложениями и широко развитыми гранитоидами того же возраста. Верхний этаж соответствует поздним и конечным этапам развития подвижного пояса или стадии более молодой мезозойской активизации. Он разделяется на три структурных яруса.

Нижний ярус сложен вулканогенной толщей, с формированием которой связано возникновение гипабиссальных и субвулканических интрузий. Магматические образования этого яруса объединяются в две почти одновозрастные формации: липарито-гранитовую и андезито-гранодиоритовую. С первой ассоциируются олово-вольфрамовые, со второй — молибденовые, золоторудные и полиметаллические месторождения. Урановая минерализация в связи с этими формациями встречается редко и имеет незначительные масштабы.

Средний структурный ярус представлен вулканогенными и осадочными образованиями, выполняющими конседиментационные впадины. Магматические породы его объединяются в субщелочную базальто-андезито-липаритовую формацию, с которой парагенетически связываются урановые месторождения флюорито-иордизито-настурановой рудной формации, а также низкотемпературные месторождения флюорита, сурьмы, ртути, вольфрама, золота.

Образования нижнего и среднего ярусов зачастую пространственно разобщены.

Верхний структурный ярус сложен терригенными, местами угленосными континентальными отложениями с резко подчиненными покровами базальтов и андезитов, выполняющими конседиментационные впадины, нередко типа грабен. К этим же впадинам и их обрамлению иногда приурочены дайки, силлы, лакколиты пород субщелочной базальто-габбронидной формации, с которыми ассоциирует урановое оруденение кремнисто-настурановой и кремнисто-мышьяково-настурановой рудных формаций, а также проявления флюорита, самородного мышьяка, ртути, сурьмы и золота.

Между указанными ярусами устанавливаются структурные несогласия.

Большое значение в формировании структур отдельных этажей и ярусов, а также вышеуказанных магматических формаций и связанных с ними месторождений имели крупные долгоживущие разломы. Они разнотипны и неоднократно подновлялись. Развитие разломов в фундаменте обуславливает его резко выраженное блоковое строение. Разломы, проходящие в фундаменте, проявляются также и в верхнем структурном этаже. Участки блокового строения фундамента, сложенного древними гранитоидами и гнейсами, по-видимому, являются более благоприятными для развития магматических процессов, с которыми ассоциирует урановое оруденение.

С наиболее крупными долгоживущими разломами связано возникновение многочисленных впадин. Они также контролируют расположе-

ние интрузивных массивов, вулканических аппаратов, главнейших рудных месторождений разного возраста (вольфрам, молибден, золото, полиметаллические руды, флюорит и др.) и в общем определяют положение структурно-металлогенических зон.

С крупными разломами сопряжены многочисленные разрывные нарушения разного направления, часть из которых является рудоконтролирующими, особенно в местах пересечения нарушений разных направлений. В связи с развитием вулканических структур центрального типа возникают кольцевые разломы.

В гранитоидах нижнего структурного этажа рудоконтролирующими являются протяженные крутопадающие зоны дробления, в пределах которых залегают рудные жилы. В породах верхнего структурного этажа морфология рудоконтролирующих разрывных нарушений является более сложной. Распределение крутопадающих жил в разрезе часто ограничивается по падению и восстанию определенными горизонтами эффузивов, а также контактом эффузивов с нижним структурным этажом.

Урановое оруденение сопровождается специфическим изменением рудовмещающих пород, выражающимся в их аргиллизации, гематитизации, окремнении и пиритизации. Аргиллизация проявляется главным образом в гранитоидах нижнего структурного этажа, где наблюдаются околорудные оторочки аргиллизированных, главным образом каолинизированных пород с четким зональным строением. В эффузивах сильнее чем в гранитоидах проявлена дорудная гематитизация. Процессы аргиллизации проявлены преимущественным развитием гидрослюд. Отложение урановых минералов непосредственно сопровождается альбитизацией.

По своему составу урановые руды относятся к малосульфидным. Развита пирит, иногда самородный мышьяк и молибденит. В незначительном количестве встречаются галенит и сфалерит. Рудные минералы имеют резко выраженный метаколлоидный характер, а сопровождающие их кварц, гидрослюда, карбонат слагают тонкозернистые или скрытокристаллические агрегаты. Намечается различие в минеральном составе руд, связанных с различными магматическими формациями. В урановых рудах, связанных с базальто-габброидной формацией, урановая смолка чаще ассоциирует с самородным мышьяком, а урановое оруденение, тяготеющее к базальто-андезито-липаритовой формации, характеризуется ассоциацией настурана с иордзитом и флюоритом. Руды, развивающиеся в верхнем структурном этаже, являются более богатыми.

**Флюорито-иордзито-настурановая формация** (см. прилож. 7). Урановые месторождения флюорито-иордзито-настурановой рудной формации вместе с породами базальто-андезито-липаритовой магматической формации, с которой они пространственно и парагенетически связаны, развиты в среднем структурном ярусе верхнего структурного этажа.

Породы субщелочной базальто-андезито-липаритовой формации являются продуктами деятельности трещинных и центральных вулканических аппаратов. В магматической деятельности иногда отмечается известная ритмичность, проявляющаяся в чередовании излияний субщелочных афанитовых основных и средних эффузивов и сменяющих их эксплозивных извержений, экструзий и субвулканических интрузий липаритов, трахилипаритов и сиенит-порфириров. На ранних стадиях каждого ритма господствуют трещинные излияния, а на поздних преобладают извержения центрального типа. Центральные аппараты группируются в цепочки и контролируются теми же глубинными разломами, что и трещинные излияния. Химические составы пород рассматриваемой формации колеблются от аляскитоидных липаритов до базальтов-

крийнитов. По своим петрохимическим особенностям они близки к вулканической серии Йеллоустонского парка.

Парагенетическая связь уранового оруденения с субщелочной базальто-андезито-липаритовой формацией определяется одинаковым геологическим возрастом конечных продуктов магматизма и оруденения, структурной приуроченностью магматических тел (субвулканических интрузий, экструзий, даек) и месторождений урана к единым глубинным разломам, высокими фоновыми содержаниями радиоактивных элементов и элементов-спутников в магматических породах формации (двух-трехкратное превышение кларковых величин) и, наконец, фациальной близостью тех и других (приповерхностным характером магматизма и гидротермальных процессов).

Один из районов развития уранового оруденения, связанных с этой формацией, представляет собой кальдеру, расположенную на пересечении двух крупных разломов северо-восточного и меридионального направлений. Эта кальдера является овальной впадиной, выполненной основными, средними и кислыми эффузивами с подчиненными терригенными отложениями общей мощностью 1000—1500 м. Фундамент впадины сложен палеозойскими гранитоидами. На них и на небольшой пачке конгломератов залегают андезито-базальты, сменяющиеся выше по разрезу туфолавами дацитов и липарито-дацитов. Еще выше расположены андезиты, андезито-базальты, конгломераты, туфы, туфолавы дацитов и трахиандезиты. Разрез завершается пачкой кварцевых порфиров, их туфов и туфолов и фельзитами. Кроме того, в районе развиты эструзивные тела и дайки липаритов и сиенит-порфиров. Залегание эффузивных пород пологое. Большое развитие имеют разрывные нарушения, сопряженные с крупными разломами. К ним относится кольцевой разлом, развивающийся в периферической части кальдеры и контролирующей внедрение даек липаритов, и ряд близмеридиональных и близширотных разрывных нарушений. Рудоконтролирующими являются разрывные нарушения одного из близмеридиональных направлений. Некоторые из них представляют собой пересекающие всю толщу вулканогенных пород и глубоко уходящие в гранитоиды фундамента сбросо-сдвиги с крутопадающими зонами дробления пород.

Урановое оруденение, развивающееся в таких зонах, представлено крутопадающими линзообразными рудными телами. Интенсивное оруденение приурочено также и к сопряженным со сбросо-сдвигами зонам трещиноватости, развивающимся в пределах отдельных горизонтов туфолов (часто на контакте различных пород), а также на границе эффузивных пород с гранитоидами нижнего структурного этажа.

Здесь проявлены штокверкообразные тела со сложной морфологией, расположенные в разных частях разреза и в различных породах: кварцевых порфирах, андезитах, туфолавах дацитов, а также в верхней кромке гранитов фундамента. Оруденение в пределах этих зон дробления обычно приурочено к крутопадающим трещинам.

Рудовмещающие породы обычно подвергнуты гематитизации, артиллизации (гидрослюдь, монтмориллонит), окремнению и пиритизации. Характерным процессом, непосредственно сопровождающим урановое оруденение, является альбитизация.

Урановому оруденению в отдельных участках сопутствует промышленная молибденовая минерализация. Урановые минералы представлены настураном, гидронастураном, реже браннеритом. Их сопровождают гематит, пирит, марказит, иордизит, реже галенит и сфалерит. В незначительном количестве встречаются пирротин, халькопирит, блеклая руда, киноварь, арсенопирит.

В рудах и рудовмещающих породах широко развиты кварц, карбонаты, флюорит, апатит, гидрослюда, реже встречаются монтмориллонит и хлорит.

Для рудных минералов характерны метаколлоидные текстуры, тонкоагрегатное строение и совместное нахождение в виде смешанных плохо раскристаллизованных агрегатов. Настуран встречается в виде мельчайших глобул, натечных и почковидных агрегатов в тесной ассоциации с пиритом, иордзитом, характеризующихся подобными же формами. Рудные минералы часто приурочены к скоплениям гидрослюд, хлорита, флюорита и апатита. Они замещают вкрапленники биотита и плагиоклаза, а также зерна ильменита, либо слагают отдельные мало-мощные (0,1—1,5 см) прожилки. Характерными элементами-спутниками являются Mo, Pb, As, Sb, Hg, Ag, Tl, Be. Минерализация протекала в несколько стадий. С более ранней дорудной стадией связаны гематитизация, аргиллизация и карбонатизация пород, сопровождающаяся образованием вкрапленников пирита. В следующую собственно рудную стадию происходит отложение настурана в ассоциации с пиритом, иордзитом, флюоритом, апатитом. С пострудными стадиями связано развитие прожилков флюорита, халцедоновидного кварца, карбоната и диккита.

*Основные закономерности локализации уранового оруденения и важнейшие поисковые признаки.* Главными рудоконтролирующими факторами регионального значения для рассматриваемого типа оруденения являются геотектонические, магматические и структурные:

1. Для поисков уранового оруденения благоприятными являются области проявления сводово-глыбовых движений с развитием систем глубинных разломов и интенсивным интрузивно-вулканогенным магматизмом.

2. Урановая минерализация пространственно и парагенетически связана с образованиями субщелочной базальто-андезито-липаритовой формации. Минерализация приурочена к периоду структурной перестройки между завершением формирования конседиментационно-складчатых «вулканогенных» впадин среднего яруса и началом формирования угленосных грабен верхнего яруса.

3. Более вероятно нахождение промышленных концентраций урана в породах верхнего структурного этажа (средний и отчасти нижний ярусы его), в пределах блоков ранней консолидации фундамента с преобладанием гранитоидов в составе фундамента.

4. Месторождения флюорито-иордзито-настурановой формации сопровождаются развитием низкотемпературных приповерхностных месторождений флюорита, антимонита, киновари, барита и др. Проявления такой минерализации являются косвенным поисковым признаком на уран.

Более локальными поисковыми признаками являются:

1. Участки развития поздних образований базальто-андезито-липаритовой формации, представленных субщелочными кислыми породами с повышенными концентрациями Mo, Pb, Sb, Hg, Au, As, Be, Tl, иногда U и Th и повышенным содержанием летучих в исходных расплавах (массовое развитие игнимбритов, перлитов, шаровых лав и т. п.). Такие участки составляют небольшую долю общей площади развития пород формации.

2. Наличие вулканических аппаратов центрального типа, в особенности длительно развивавшихся и сложных по составу.

3. Наличие сложных по строению и истории развития тектонических зон, обычно имеющих характер сбросо-сдвигов, диагональных по отношению к складчатым структурам фундамента и сопровождаемых трещинами оперения.

4. Признаки общегеологического и минералогического характера, указывающие на небольшую степень послерудной эрозии (степень сохранности образований верхнего структурного этажа, распространенность баритовой минерализации и др.).

Наконец, еще более конкретными поисковыми признаками, указывающими на благоприятные локальные структуры, являются:

1. Участки совместного проявления различной по составу многостадийной низкотемпературной минерализации: флюоритовой, баритовой, сурьмяно-ртутной и др.

2. Зоны низкотемпературных гидротермальных изменений в вулканогенных породах — гематитизации, аргиллизации, окварцевания, пиритизации, особенно при комплексном их проявлении.

3. Ореолы повышенных концентраций элементов-спутников урана — Mo, Sb, F, Pb, As, Hg, Ag, Be.

4. Различные «структурные ловушки» — участки переслаивания вулканогенных пород различного состава и физико-механических свойств в сочетании с тектоническими нарушениями; участки сочленения пород фундамента и верхнего этажа в сочетании с тектоническими нарушениями, изменяющими свой характер при переходе из фундамента в верхний структурный этаж; скрытые поднятия фундамента в сочетании с разломами и т. д.

5. Для районов, расположенных в аридных и полуаридных климатических зонах, следует учитывать возможность почти полного выноса урана из рудных зон до глубин во многие десятки метров; необходимо соответствующим образом относиться к оценке даже небольших (на поверхности) аномалий. Кроме того, небольшие аномалии могут указывать иногда на крупные «слепые» рудные тела, экранированные отдельными горизонтами эффузивных толщ.

6. Возможно, благоприятным признаком является также наличие повышенных экзогенных концентраций урана вместе с его характерными «гидротермальными» спутниками в угленосных осадочных образованиях верхнего яруса, которые могли возникнуть в результате размыва и переотложения несколько более древних эндогенных проявлений урановой минерализации.

**Кремнисто-настурановая и кремнисто-мышьяково-настурановая формации.** Месторождения кремнисто-настурановой и кремнисто-мышьяково-настурановой урановорудных формаций образуются в стадию активизации складчатой области в тесной связи с блоковой тектоникой и специфическими проявлениями магматизма субщелочного среднего—основного состава (андезито-базальтовая формация). Для этой формации характерно примерно равное развитие пород эффузивной и субвулканической фаций. Породы эффузивной фации слагают покровы, а породы субвулканической фации — многочисленные дайки, группирующиеся в рои даек и дайковые пояса, а также силлы и лакколиты. Мощность покровов и силлов, сложенных породами формации, колеблется от первых десятков метров до 100—200 м. Дайки, сложенные породами этой формации, прослеживаются от десятков метров до 100—200 м; отдельные дайки — на несколько сотен метров до 1 км при мощности от 5—10 до 20 м. Протяженность дайковых поясов достигает нескольких десятков километров (до 100 км), ширина поясов 3—8 км.

Наиболее распространенными породами рассматриваемой формации являются: для эффузивной фации — субщелочные андезиты, андезито-базальты, базальты; для субвулканической фации — субщелочные диабазы, монзониты, лампрофиры габбро-диоритовой и сиенитовой групп (местами развиты типичные щелочные основные породы). Как видно из сказанного, для пород этой формации характерны сравнительно небольшие вариации состава — от субщелочного базальтового

до монцитонитового, что свидетельствует о незначительной дифференциации исходного магматического вещества.

Для всех пород формации характерно: а) постоянное присутствие пироксена, часто в ассоциации с роговой обманкой и буровато-красным биотитом, присутствие оливина; б) постоянное присутствие калиевого полевого шпата; в) обильное содержание апатита (до 10%); г) значительное содержание щелочей на фоне высокой основности ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6-8\%$ ). Субвулканическим породам формации свойственны шаровая или эллипсоидальная отдельность и широкое развитие структур переходного типа от диабазовой к лампрофировой, а для эффузивных пород — как стекловатых, так и полнокристаллических структур.

Распределение пород субщелочной андезито-базальтовой формации и связанных с ними пространственно низкотемпературных (эпитермальных) месторождений урана, сурьмы, ртути, флюорита, золота и самородного мышьяка определяется разрывными нарушениями разных порядков:

1. Разрывными структурами первого порядка, определяющими геологическое строение района, являются глубинные разломы продольного по отношению к древним складчатым структурам направления; вдоль этих разломов были заложены мезозойские депрессии, в пределах которых проявилась эффузивная деятельность.

2. В мезозое разломы первого порядка были подновлены, а также возникли вновь разрывные структуры второго порядка — разломы поперечных по отношению к древним складчатым структурам направлений. Это разломы контролируют развитие роев даек и дайковых поясов субщелочной андезито-базальтовой формации и распределение эпитермальных месторождений урана, сурьмы, ртути, флюорита, золота.

Максимальное развитие пород данной формации и эпитермального оруденения отмечается на участках сопряжения разломов второго порядка друг с другом и с разломами первого порядка.

Намечающаяся парагенетическая связь эпитермального оруденения района с субщелочной андезито-базальтовой формацией основывается на следующих данных:

а) породы формации являются наиболее молодыми магматическими образованиями и непосредственно предшествуют локализации эпитермального оруденения;

б) имеет место приуроченность эпитермального оруденения и субвулканических пород формации к одним и тем же крупным структурам — зонам разломов первого и второго порядка;

в) породы формации всегда встречаются на территории рудных полей эпитермальных месторождений и рудопроявлений;

г) устанавливается приуроченность рудных тел и субвулканических пород формации к одним и тем же локальным разрывным нарушениям:

д) помимо тесной возрастной и пространственной связи эпитермального оруденения района и пород субщелочной андезито-базальтовой формации, имеет место общность состава (повышенная щелочность) этих пород и эпитермальных растворов, поскольку содержащие ртуть, мышьяк, уран и сурьму рудные тела формировались под действием растворов, обогащенных  $\text{K}_2\text{O}$  (гидрослюдизация и адуляризация вмещающих пород) и  $\text{Na}_2\text{O}$  (альбитизация).

Рассматриваемый тип урановых месторождений включает две рудные формации: кремнисто-настурановую и кремнисто-мышьяково-настурановую, отличающиеся друг от друга только по вещественному составу руд. Для второй из них характерно присутствие в рудах самородного мышьяка, а для первой — небольших количеств флюорита и барита. Первичные урановые минералы представлены настураном, реже коффи-

нитом. Настуран и коффинит тесно ассоциируют с пиритом, марказитом, иногда самородным мышьяком, реальгаром и аурипигментом. В рудных телах иногда устанавливаются в небольших количествах галенит, арсенопирит и иордизит. Указанные рудные минералы сопровождаются халцедоновидным кварцем, карбонатами, гидрослюдами, каолинитом, иногда альбитом и серицитом, изредка устанавливаются флюорит и барит. Постоянными элементами-спутниками являются мышьяк, молибден, сурьма, ртуть, серебро, свинец, медь.

Формирование урановорудных тел прерывается многократными тектоническими подвижками и происходит стадийно; рудные тела представляют собой сложные брекчии. На ранних стадиях рудного процесса происходит отложение нескольких генераций халцедоновидного кварца светлой окраски, сопровождаемых лишь небольшим количеством рудных минералов. Основное количество рудных минералов отлагается после дробления раннего халцедоновидного кварца в ассоциации с небольшим количеством черного или сургучного халцедоновидного кварца, карбонатов и гидрослюды. В пострудные стадии процесса минерализации отлагаются кальцит, иногда флюорит и барит.

Формирование рудных тел сопровождается интенсивной гидротермальной переработкой вмещающих пород, которые подвергаются аргиллизации. Ореол аргиллизированных пород вокруг рудных тел обычно характеризуется четкой вертикальной и горизонтальной зональностью. При движении от рудного тела к неизменным породам устанавливаются следующие зоны: окремнения, каолинизации, монтмориллонитизации и гидрослюдизации. В околорудноизмененных породах иногда присутствует тонкораспыленный гематит, придающий породам характерную буровато-красную окраску.

Рудные тела располагаются как среди метаморфических и интрузивных, так и среди эффузивных и осадочных пород. Приурочены рудные тела к локальным разломам, сопряженным с разрывными нарушениями второго порядка, иногда непосредственно к последним. Форма и размеры рудных тел в первую очередь обусловлены механическими свойствами вмещающих пород и интенсивностью проявления тектоники в пределах рудных полей. Так, в однородных гранитоидных породах в сравнительно спокойной тектонической обстановке развиваются довольно крупные, выдержанные по мощности, простиранию и падению жиллообразные тела; содержание урана в таких телах обычно невелико. Выдержанный жиллообразный или линзообразный характер рудных тел определяет сравнительно простое строение рудного поля. В участках со сложным геологическим строением (присутствие разнородных по физико-химическим свойствам пород) и сильной трещиноватостью развиваются сравнительно мелкие линзообразные и столбообразные, иногда крайне прихотливой морфологии рудные тела, для которых характерны обычно значительные содержания урана. Распределение этих тел в пространстве имеет очень сложный характер, обусловленный различной ориентировкой сравнительно мелких рудных тел и расположением их на различных горизонтах, иногда на значительном удалении друг от друга.

На территории рудных полей урановых месторождений постоянно устанавливаются субвулканические интрузии субщелочной андезитобазальтовой формации и часто обнаруживаются тела халцедоновидного кварца с киноварью и антимонитом.

Окислительные процессы на месторождениях рассматриваемого типа приводят к образованию вторичных урановых минералов (урановой черни и различного типа слюдок) и гидроокислов железа. Вторичные ореолы рассеяния характеризуются присутствием следующих компонентов: урана, мышьяка, молибдена, сурьмы, свинца, меди.

При проведении крупномасштабного специализированного картирования в районах, перспективных в отношении рассматриваемых урановорудных формаций, важнейшим является выделение локальных тектоно-магматических структур (зон разломов), в пределах которых наиболее благоприятно сочетаются тектонические и магматические факторы контроля в пространственной локализации оруденения.

Основными задачами специализированного картирования в этом плане являются выделение и детальное изучение:

1. Региональных разрывных нарушений (разломы первого порядка), подновленных в позднюю стадию активизации и контролирующих расположение и форму наложенных депрессий.

2. Разрывных нарушений второго порядка, контролирующих распределение роев и поясов дайковых тел субщелочной андезито-базальтовой формации и самих рудных полей.

3. Участков сопряжения нарушений второго порядка друг с другом и с нарушениями первого порядка, характеризующихся интенсивным проявлением магматизма субщелочного среднего—основного состава и гидротермальной деятельности.

4. Участков магматических пород субщелочной андезито-базальтовой формации, проявленной в эффузивных и субвулканических фациях (поля развития эффузивных пород, пояса или рои даек этой формации).

5. Локальных структур, контролирующих распределение отдельных даек субщелочной андезито-базальтовой формации в местах их сгущения.

6. Участков или зон гидротермальных изменений (аргиллизация) вблизи систем разломов.

### *Низкотемпературные близповерхностные урановые месторождения сложного генезиса в вулканогенно-осадочных породах наложенных впадин стадии активизации*

В структурно-металлогенических зонах позднеорогенной и предплатформенной стадий развития складчатых областей, в вулканогенно-осадочных породах наложенных впадин установлено урановое оруденение кремнисто-мышьяково-настурановой формации. По вещественному составу, характеру окolorудных изменений и некоторым другим особенностям оно весьма сходно с вышеописанным гидротермальным низкотемпературным близповерхностным урановым оруденением, связанным с субщелочными базальто-липаритовой и андезито-базальтовой вулканогенно-интрузивными формациями стадии тектоно-магматической активизации.

Вместе с тем урановое оруденение в вулканогенно-осадочных породах наложенных впадин обладает рядом особенностей (условия локализации), предопределяющих существование различных представлений о генетическом типе урановой минерализации и обуславливающих специфический комплекс поисковых критериев и признаков. В связи с этим урановое оруденение кремнисто-мышьяково-настурановой формации рассматривается в качестве самостоятельного генетического типа.

Урановые месторождения в вулканогенно-осадочных породах расположены в структурно-металлогенической зоне, для которой характерно широкое развитие региональных разломов, контролирующих размещение молодых впадин, небольших интрузий магматических пород и эпitherмальных месторождений флюорита, сурьмы, ртути, мышьяка и золота.

Урановое оруденение представлено пластообразными рудными телами, приуроченными к нижней части вулканогенно-осадочной толщи, выполняющей обширную впадину. Оруденение развивается в прибортовой тектонически неустойчивой, весьма мобильной части впадины, расположенной между двумя близмеридиональными разломами. Борты и кристаллическое основание впадины сложены гранитоидами, содержащими ксенолиты кристаллических сланцев, гнейсов и амфиболитов. Гранитоиды секутся дайками гранит-порфиров, микрогранитов и диорит-порфиритов. Последние секут также и вулканогенно-осадочную толщу.

Вулканогенно-осадочные породы в пределах рудного поля расчленяются на три свиты:

Нижняя свита. 1. Горизонт сероцветных пролювиальных глыбовых конгломератов, залегающих на гранитоидах фундамента и представленных неотсортированными и плохо окатанными глыбами гранитоидных пород почти без заполняющей массы. Мощность горизонта до 70 м.

2. Горизонт пролювиально-аллювиальных сероцветных средне- и крупногалечных конгломератов и гравелитов с маломощными линзовидными прослоями алевролитов, песчаников (иногда туфогенных) и кристаллокластических туфов в верхней части. Конгломераты состоят из слабо окатанной и плохо отсортированной гальки гранитов, реже эффузивов, сцементированных песчано-гравийной массой, содержащей значительное количество рассеянного бесструктурного органического вещества, углефицированной древесины и примесь пирокластического материала. Отдельные пластообразные участки конгломератов, некоторые пласты углистых песчаников, алевролитов и туфов содержат повышенные концентрации урана. Мощность горизонта 60 м.

3. Горизонт белых липаритовых туфолов с линзами черных перлитовых туфолов. К отдельным участкам дробленых липаритовых туфолов приурочено урановое оруденение. Мощность горизонта 60—70 м.

Средняя свита. На размытой поверхности пород нижележащих горизонтов и в руслах древних водотоков, врезанных в граниты, залегают:

1. Горизонт серых пролювиально-аллювиальных крупно- и среднегалечных конгломератов и гравелитов. Конгломераты состоят из галек гранитоидов и андезитовых порфиритов, включенных в песчано-гравийную заполняющую массу. В них часто встречаются обломки углефицированной древесины и рассеянное бесструктурное углистое вещество. В конгломератах залегают прослой гравелитов, часто с примесью пирокластического материала. Последний также встречается в отдельных прослоях конгломератов. В нижней части горизонта расположен прослой туфов мощностью до 15 м. В туфах, в подстилающих их осадочных породах, в отдельных линзообразных участках гравелитов и конгломератов локализуется урановая минерализация. Мощность горизонта до 80 м.

2. Горизонт руслово-пойменных гравелитов, туфогенных песчаников и алевролитов с подчиненными прослоями конгломератов. Породы содержат тонкодисперсное бесструктурное органическое вещество, придающее породам темно-серый оттенок. Этот горизонт не является рудоносным, и лишь в некоторых участках встречаются незначительные по мощности прослой с убогим урановым оруденением. Мощность горизонта достигает 120 м.

3. Горизонт озерных тонкогоризонтально-слоистых алевролитов и песчаников с прослоями гравелитов и конгломератов. Уранового оруденения эти отложения не содержат. Мощность горизонта от 30 до 120 м.

Верхняя свита: 1. Горизонт андезитов, дацитов и их туфов,

алевролитов, средне- и мелкозернистых песчаников и аллювиальных конгломератов. Мощность горизонта до 400 м.

2. Горизонт аллювиально-озерных светло-серых мергелевидных аргиллитов с тонкими линзами глинистых сидеритов, волнисто-слоистых алевролитов и мелкозернистых песчаников. Мощность горизонта до 400 м.

Вся вулканогенно-осадочная толща имеет пологое (10—15°) юго-восточное падение.

Широко развиты разрывные нарушения, связанные с существованием в прибортовой части впадины долгоживущего разлома широтного направления. С ранними стадиями его развития связаны образовавшиеся задолго до размыва кристаллического основания и отложения осадочных пород разрывные нарушения, контролировавшие проявление в гранитах близширотных даек гранит-порфиров и мелкозернистых гранитов. С более поздними разрывными нарушениями связано формирование в кристаллическом основании тектоно-эрозионных ложбин (палеодолин). Они также приурочены к прибортовой части депрессии. Более крупные из них имеют близширотное, параллельное борту впадины направление. К ним причленяются более мелкие ложбины северо-восточного направления. В бортах широтных ложбин наблюдаются крутые террасовидные уступы. Днища ложбин наклонные.

В пределах рудного поля широко развиты крутопадающие (70—90°) разрывные нарушения близширотного, северо-восточного и близмеридионального направления. Северо-восточные разрывные нарушения представлены сбросовыми трещинами. Трещины других направлений преимущественно сдвиговые. Смещение пород по ним незначительное, редко достигает десятых долей метра. Некоторые близширотные крутопадающие разрывные нарушения пространственно совпадали с тальвегами ложбин (палеодолин) в кристаллическом основании. Разрывные нарушения близмеридионального направления вызывали изменение конфигурации ранее образовавшихся в гранитах ложбин — появление в них поднятий и уступов. Отдельные разрывные нарушения контролировали излияния туфолав, чередовавшихся с отложением осадочных пород, и развитие вулканических аппаратов центрального типа. Тектонические подвижки в процессе осадкообразования вызывали резкое изменение фаций и мощностей осадочных свит. С ними, вероятно, связан интенсивный размыв вулканогенно-осадочных пород нижних горизонтов, заполнявших ложбины в гранитах фундамента. При этом образовывались эрозионные врезы, заполненные более молодыми вулканогенно-осадочными породами. Эрозионные врезы в вулканогенно-осадочных породах нередко наложены на более древние ложбины в гранитах.

Крутопадающие разрывные нарушения представлены зонами трещин мощностью до 3 м и протяженностью в первые сотни метров. Зоны трещин выражены более интенсивно в гранитах и менее интенсивно в породах вулканогенно-осадочной толщи.

С крутопадающими разрывными нарушениями сопряжены широко распространенные пологопадающие (20—25°) зоны трещиноватости и межпластовых срывов, наблюдаемые преимущественно в вулканогенно-осадочных породах. Чаще всего они развиваются согласно напластованию осадочных пород, реже встречаются в залегающих среди них туфолавах. Наблюдаются они также и в гранитах, вблизи контакта их с осадочными породами. Обычно пологопадающие разрывные нарушения проходят по границам пород различного состава, резко отличающихся по своей плотности. Протяженность пологопадающих трещин и зон достигает многих сотен метров при мощности до 3-х метров.

Наряду с зонами трещин наблюдаются пологопадающие швы с глиной трения. По ним проходили небольшие перемещения, в резуль-

тате которых образовались мелкие складки волочения. В дробленых конгломератах гальки и валуны пересечены трещинами или деформированы в краях. Расположенные среди них пропластки алевролитов и сланцев сильно смяты. На контакте гранитов и конгломератов в дробленых участках развиваются брекчии. Пологопадающие разрывные нарушения нередко экранируют крутопадающие.

Широко распространенные в вулканогенно-осадочных породах пологопадающие разрывные нарушения сопряжены с крутопадающими разрывными нарушениями, более интенсивно развитыми в породах кристаллического основания, представляющими собой подвижки блокового характера.

Большинство пологопадающих разрывных нарушений играло важную роль в локализации уранового оруденения и определило пластообразную форму рудных тел. Залегание последних либо согласное с напластованием пород, либо слабосекущее. Чаще всего рудные тела приурочены к осевым или прибортовым частям ложбин и к уступам в кристаллическом основании. Рудные тела развиваются в конгломератах, гравелитах, реже в прослоях песчаников и алевролитов, а также в туфах, туфолавах и в гранитах вблизи их границы с осадочными породами. В связи с тем, что рудоконтролирующие пологопадающие разрывные нарушения нередко пересекали границы эрозионных врезов и переходили из осадочных пород в граниты и туфолавы, отдельные рудные тела залегают частью в конгломератах и гранитах, частью в гранитах и туфолавах.

Наряду с пластовыми линзовидными залежами иногда встречаются небольшие гнездообразные и жилоподобные рудные тела. Пластовые залежи имеют значительную протяженность. Более богатые участки в пределах этих залежей контролируются крутопадающими или пологопадающими трещинами, а также их пересечениями. Жилоподобные тела приурочены к разрывным нарушениям северо-восточного простирания и часто соединяются по падению или восстанию с крупными линзообразными пологозалегающими рудными телами.

Приуроченность рудных тел к нижней части разреза вулканогенно-осадочных пород вблизи кристаллического основания вызвано преимущественным развитием рудоконтролирующих пологопадающих разрывных нарушений вблизи контактов осадочных пород с гранитоидами, резкой литологической неоднородностью пород в нижней части вулканогенно-осадочной толщи и наличием несогласных контактов между породами различных горизонтов.

В гранитах рудные тела расположены вблизи уступов в фундаменте, а также в местах их сочленения. Расположение рудных тел в осадочных породах над тальвегами ложбин в кристаллическом основании связано, вероятно, с тем, что именно в этих участках имеет место частая смена резко неоднородных в фаціальном отношении пород и проявились многократные разрывные нарушения.

Для большей части рудного поля характерно многоярусное расположение рудных тел. Большинство рудных тел на дневную поверхность не выходит.

Руды, независимо от того, в каких породах они развиваются, характеризуются однотипной минерализацией. Настуран, реже коффиниг обычно сопровождаются пиритом и самородным мышьяком. Значительно распространены реальгар и аурипигмент, меньше марказит, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенипирит. В единичных случаях наблюдались киноварь, блеклая руда, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, азурит, самородная медь. Нерудные минералы-новообразования представлены скрытокристаллическим и тонкозернистым кварцем, каолинитом, гидрослюдой, магносидеритом, доломитом, анкеритом.

В урановых рудах и околорудных породах интенсивно проявлен катаклаз и гидротермальные изменения. Часто наблюдается карбонатизация, каолинизация, гидрослюдизация, реже гематитизация пород. Иногда наблюдается зональность в изменении: во внешней зоне участков измененных пород развиваются каолинит и карбонат, в центральной — скрытокристаллический кварц и сульфиды. Реже встречаются барит, флюорит.

Для рудных минералов характерна метаколлоидная структура и тесное взаимное прорастание, для кварца, каолинита, гидрослюда, реже карбоната — скрытокристаллические, иногда смешанные агрегаты.

Формирование руд связано с несколькими стадиями минерализации, прерывавшимися тектоническими подвижками.

Характерные элементы-спутники в рудах: As, Sb, Mo, Hg, Tl, Ge. Некоторые из них (As, Mo реже Hg) создают околорудные ореолы.

Распределение рудных минералов в различных оруденелых породах имеет свои особенности. В слабодробленных оруденелых гранитах, сохраняющих свою текстуру и структуру, настуран и коффинит вместе с пиритом, кварцем, гидрослюдой, а иногда и карбонатом замещают биотит. Мелкие зерна рудных минералов развиваются в каолиновых псевдоморфозах по плагиоклазу. В дробленных гранитах рудные минералы приурочены к кремнисто-глинистым прожилкам. В ураноносных туфоловах тонкодисперсный настуран насыщает отдельные участки стекловатой массы, а также вместе с самородным мышьяком встречается в прожилках скрытокристаллического кварца и карбоната. В ураноносных конгломератах и гравелитах настуран с пиритом и самородным мышьяком приурочен к скрытокристаллическому кварцу, к гидрослюдам и карбонатам, развивающимся в цементе пород и в прожилках, секущих обломки. В ураноносных песчаниках и алевролитах рудные минералы развиваются внутри или вблизи прослоев углистого вещества.

Ураноносные окремненные брекчии, образовавшиеся за счет гранитов и конгломератов, цементируются скрытокристаллическим кварцем. Последний относится к нескольким генерациям и имеет серую, иногда черную, бурую или красную окраску. Настуран в виде мелких зерен приурочен к более поздним генерациям кварца.

Настуран и сопровождающие его пирит и самородный мышьяк часто встречаются в плохо раскристаллизованных агрегатах, а также образуют тончайшие прорастания, что связано с развитием этих минералов из гелей сложного состава. Пирит и самородный мышьяк встречаются также в виде отдельных более крупных (1—3 мм) кристаллов, относящихся к более ранней генерации.

Вопрос о генезисе рассматриваемого типа уранового оруденения окончательно не решен. Многими исследователями оно рассматривается в качестве гидротермального низкотемпературного близповерхностного, связанного с магматизмом стадии активизации. Другие исследователи допускают возможность связи оруденения с широко проявленными в районе вулканогенными и последующими экзогенными процессами (месторождения сложного генезиса, предположительно вулканогенно-осадочные).

При выборе площадей для крупномасштабной специализированной геологической съемки и поисков месторождений этого типа необходимо учитывать следующие благоприятные для выявления уранового оруденения критерии и признаки:

1. Наличие в районе наложенных впадин стадии активизации, выполненных вулканогенно-осадочными толщами и расположенных в пределах структурно-металлогенических зон с проявлениями эпитепмального мышьяково-сурьмяно-ртутного оруденения.

2. Развитие во впадинах, особенно в их прибортовых частях, вулканических аппаратов и покровов эффузивов кислого и основного состава. Синхронное с вулканизмом осадконакопление.

3. Резко выраженная фациальная неоднородность осадочных пород в нижней части разреза вулканогенно-осадочной толщи. Развитие в базальных горизонтах вулканогенно-осадочной толщи неоднородных сероцветных пролювиально-аллювиальных разногалечных конгломератов с линзами гравелитов и прослоями песчаников и туфов.

4. Наличие во впадинах участков сочленения крупных близмеридиональных и широтных разломов.

5. Проявление во впадинах горстообразных поднятий, разделяющих их на грабены второго и более высоких порядков.

6. Развитие тектоно-эрозионных ложбин в гранитном фундаменте и эрозионных врезов в базальных горизонтах вулканогенно-осадочной толщи.

7. Развитие в прибортовых частях впадин и на их замыкании крутопадающих и сопряженных с ними пологопадающих разрывных нарушений.

8. Приуроченность разрывных нарушений к несогласным контактам между различными свитами вулканогенно-осадочных пород.

9. Развитие пологопадающих разрывных нарушений в вулканогенно-осадочных породах и гранитах вблизи их контакта.

10. Развитие процессов аргиллизации, окремнения, карбонатизации в рудовмещающих породах.

11. Проявление многостадийной низкотемпературной урановой минерализации.

12. Проявление ореолов элементов-спутников урана: As, Sb, Mo, Tl, Hg, Ge.

## УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ

### УРАНОВЫЕ (ЗОЛОТО-УРАНОВЫЕ, ТОРИЙ-УРАНОВЫЕ) ОСАДОЧНО-МЕТАМОРФОГЕННЫЕ (ОСАДОЧНО-МЕТАМОРФИЗОВАННЫЕ) МЕСТОРОЖДЕНИЯ В КОНГЛОМЕРАТАХ ДОКЕМБРИЯ

На протяжении геологической истории земной коры формация кварцевых конгломератов проявлялась неоднократно, однако широкое развитие, большая мощность рудоносных толщ и промышленные концентрации золота, урана, тория и других элементов свойственны лишь конгломератам докембрия.

Эпоха образования конгломератов и связанного с ними оруденения имеет глобальное значение, знаменуя собою резкую смену характера тектонических движений, климатического режима, состава атмосферы, вод океана и условий осадконакопления в древнем докембрии, обусловившую образование мощных кор континентального выветривания на архейском гранитизированном фундаменте, последующий их размыв и захоронение продуктов сноса в период образования протерозойских (среднедокембрийских) осадочно-вулканогенных толщ, несогласно с большим перерывом залегающих на этом фундаменте.

*Положение в региональных структурах.* Формация ураноносных кварцевых конгломератов докембрия известна во многих районах мира, где она занимает совершенно определенную позицию в региональных структурах. Рудоносные конгломераты залегают в пределах докембрийских платформ и их щитов (преимущественно в обрамлении), где наиболее интенсивно проявились краевые верхнеархейские и протерозойские геосинклинальные прогибы, докембрийская складчатость и долгоживущие разрывные нарушения глубокого заложения. Эти краевые части региональных структур земной коры неоднократно подвергались более поздней тектоно-магматической активизации, определившей сложный характер их структурного плана и особенности магматизма и метаморфизма.

Так, золото-ураноносные конгломераты Витватерсранда залегают в южной краевой части Южно-Африканской платформы (Котляр, 1960; Безгубов и др., 1963). Ураноносные кварцевые конгломераты (Блайнд Ривер, Канада) приурочены к южной части Канадского щита (Деггу, 1960; Рипааг, 1963), Южно-Американские месторождения золото-ураноносных конгломератов района Жакобин расположены в западной краевой части Бразильского щита (Безгубов и др., 1963; Кренделев, 1965). На Балтийском щите ураноносные конгломераты (Пауккаяанвара, Финляндия) локализируются в краевой части ятулийского материка (среднего массива) и отчасти в пределах центральных частей последнего (Uranium Deposits in Finland, 1960; Matti Tyni, 1962).

Аналогичную геотектоническую позицию в региональных структурах занимает формация ураноносных конгломератов других древних платформ земной коры.

*Возраст формации.* По возрасту докембрийские рудоносные конгломераты относятся большинством исследователей к нижнему и среднему протерозою. Радиологические данные определяют возраст конгломератов от 2700 (Доминион-Риф, Витватерсранд) до 1700 млн. лет (Блайнд Ривер), причем по этим данным возраст обломочных минералов (циркон, монацит) конгломератов обычно намного древнее возраста основных рудных минералов — уранинита и браннерита. Очевидно, что возраст цирконов и монацитов из конгломератовых толщ в общем случае отражает возраст гранитоидов нижнего (архейского) структурного этажа, за счет разрушения которых формировались эти минералы. Отмеченная разница возрастов свидетельствует о многоэтапности образования и преобразования урановых минералов (Тугаринов, Войткевич, 1966).

Для Южно-Африканской конгломератоносной провинции намечается эпоха регенерации урановых руд в толщах Доминион-Риф и Витватерсранд с возрастом в 1900—2000 млн. лет, связанная с Бушвельдским магматизмом. Явления мобилизации и переотложения первичного урана конгломератов последующими процессами тектоно-магматической активизации отчетливо устанавливаются для районов Блайнд Ривер, Жакобина (Сох, 1967), Пауккаянваара (Matti Tupi, 1962) и др. В этих районах, в частности, наблюдается переотложение урана вдоль диабазовых даек.

*Особенности структур и состава архейско-протерозойских толщ* (нижний и верхний структурные этажи). Нижним структурным этажом большинства районов распространения рудоносных кварцевых конгломератов докембрия являются глубокометаморфизованные архейские образования, представленные гнейсо-гранитами, мигматитами, гранитоидами, кварцевыми порфирами, порфироидами и амфиболитами. Все эти породы подверглись интенсивной складчатости и блоковым перемещениям по системе глубинных разломов и сбросов.

Верхний структурный этаж, с большим перерывом и резким несогласием залегающий на нижнем, представлен осадочно-вулканогенными толщами протерозоя. Для него характерен иной, по сравнению с археем, стиль генеральных тектонических структур, степень сложности и напряженности которых ослабевает от нижнего к среднему протерозою. Как правило, протерозойские образования верхнего этажа формируют относительно пологие широкие синклинали, осложненные куполообразными поднятиями и разрывами; вблизи последних наблюдаются резкие нарушения преобладающего пологого залегания толщ.

По своему строению и облику (широкие прогибы со своеобразной ослабленной складчатостью) ниже- и среднепротерозойские геосинклинальные структуры мало похожи на геосинклинали фанерозоя и иногда рассматриваются как структуры, переходные к платформенным, но по тенденциям своего развития и проявлению процессов гранитизации и метаморфизма они не являются платформенными структурами. В состав пород верхнего этажа (рудовмещающие и рудоносные толщи) входят по преимуществу терригенные и вулканогенные образования, отчасти хемогенные (железистые кварциты), представленные серицитокварцевыми сланцами, аркозами, моно- и олигомиктовыми кварцевыми и полимиктовыми конгломератами, гравелитами, кварцитами, песчаниками, железистыми кварцитами и сланцам, граувакками, карбонатными породами (доломиты, известняки), переслаивающимися главным образом с основными, частью кислыми эффузивами и туфами. Синорогенные интрузивные породы образуют дайки, силлы и мелкие массивы диабазов, габбро-диабазов, диоритов, аплитов. Посторогенный магматизм

проявлен в различной форме главным образом за пределами развития толщ, вмещающих урановое и золотое оруденение. Для него типичен щелочной характер (нефелиновые сиениты бушвельдского комплекса, щелочные метасоматиты района Блайнд Ривер, щелочные эффузивы района Жакобина и др.). К поздним проявлениям магматизма районов развития рудоносных конгломератов, относящимся к стадии платформенного развития и активизации этих регионов, принадлежат местами алмазоносные кимберлиты и другие образования взрывного типа (Кренделев, 1965).

В ряде регионов отмечается принадлежность осадочно-вулканогенных комплексов верхнего структурного этажа к нескольким трансгрессивно-регрессивным циклам, что выражается в последовательной смене в разрезе грубообломочных образований (конгломераты, гравелиты) глинистыми песчано-глинистыми отложениями и покровами вулканогенных пород.

Общая мощность толщ верхнего структурного этажа составляет от сотен метров до 10 000 м при протяженности в десятки и сотни километров.

*Особенности рудоносных толщ.* Золотое, урановое и в отдельных районах урано-ториевое оруденение локализуется в мономиктовых и главным образом олигомиктовых кварцевых конгломератах, гравелитах и кварцито-песчаниках верхнего структурного этажа. Эти породы залегают либо в основании всего разреза (базальные конгломераты), либо внутри рудовмещающей толщи на нескольких горизонтах (внутриформационные конгломераты). В первом случае рудоносные породы несогласно лежат на эродированной поверхности архейских гранитоидов и связанных с ними пород, во втором — на размытой поверхности подстилающих протерозойских пород, в том числе и конгломератов.

Рудоносные конгломераты, как и вся рудовмещающая толща, подверглись метаморфизму, причем, как устанавливается по радиологическим данным, в ряде регионов неоднократно. Степень метаморфизма пород относительно невысокая — от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации.

Весьма характерной особенностью вмещающих оруденение толщ и отчасти самих конгломератов является наличие в них косои слоистости, ориентировки галек, знаков ряби, следов оползания, трещин усыхания и т. п., определяющих в совокупности с особенностями литологического состава фациальную принадлежность пород (прибрежно-морские, подводно-дельтовые, дельтовые, аллювиальные и пролювиальные образования). В целом ураноносным конгломератам свойственно наличие хорошо отсортированных и окатанных, обычно плотно упакованных преимущественно кварцевых галек (70—80%) размером 1—6 см. Цемент конгломератов и связанных с ними толщ главным образом кварцсерицитовый. Очень характерно для большинства районов развитие рудоносных конгломератов и кварцитов, обильное в ряде участков насыщение цемента пиритом (5—20%), реже пирротином. Урановое и урано-ториевое оруденение приурочено почти исключительно к цементу. Основными минералами-носителями урана являются уранинит и браннерит, местами тухолит и монацит.

Смешанное торий-урановое оруденение в ряде районов Канадского и Балтийского щитов связано с присутствием ураноторита, торита, циртолита, сфена. Гипергенная урановая минерализация в конгломератах играет совершенно подчиненную роль. Уранинит и браннерит, а также монацит и циртолит часто образуют окатанные зерна и обломки.

В состав цемента ураноносных конгломератов входит большая группа аллотигенных минералов, в том числе золото, циркон, апатит, гранат, турмалин, магнетит, мартит, хромит, рутил, ильменит, шпинель,

алмаз и др. Для Витватерсранда характерны платина и осмистый иридий. Из аутигенных минералов присутствуют мусковит, хлорит, хлоритонд, карбонаты, отчасти тухолит и браннерит, сульфиды цинка, меди, никеля, кобальта, свинца и другие новообразованные минералы. В отдельных районах развития формации рудоносных конгломератов наблюдается избирательное обогащение ураном и золотом прослоев, содержащих углеродистое вещество.

Породы, вмещающие ураноносные (местами золотоносные) конгломераты, гравелиты и кварциты, имеют повышенный кларк урана и золота, в ряде районов и тория.

Геохимически рудоносные толщи и сами урановые руды характеризуются близким набором элементов-примесей, свойственных кислым (Sn, W, Ba, Bi, Be, Li, Pb, Zn, As, Mo), основным (Cr, V, Ti, Ni, Co, Mg, Mn) и щелочным (Th, Y, Yb, Ta, Nb) породам (Кренделев, 1965).

Содержание урана в рудах обычно невелико, содержание тория в большинстве районов также низкое, но для Канадского и Балтийского щитов отмечается повышение содержания тория, а также увеличение содержания редких земель (монацит). Местами отмечается повышение содержания урана на участках максимальной сгруженности галек в нижних частях пластов конгломерата (Котляр, 1960; Безгубов и др., 1963). В целом распределение урана в пределах рудных тел является неравномерным.

Ураноносные рудные тела в большинстве районов развития формации конгломератов докембрия имеют линзообразную и пластообразную форму и значительную протяженность; местами рудные пласты группируются в пачки, неоднократно повторяющиеся в разрезе рудовмещающих терригенных толщ. Большое влияние на форму рудных тел ураноносных конгломератов оказывает рельеф архейского фундамента. Эрозионные ложбины, русла палеопотоков и тектонические депрессии выполнялись продуктами сноса с соседних приподнятых участков суши, чем определяется морфология отдельных рудных тел (струйчатая, лентообразная, русловая) и местами значительные и резкие колебания общей мощности конгломератовых толщ, что, в частности, характерно для месторождения Блайнд Ривер (Derry, 1960; Ripaар, 1963).

*Поисковые критерии и вопросы происхождения уранового оруденения формации кварцевых конгломератов.* При суждении о поисковых критериях, о генезисе кварцевых конгломератов и уранового оруденения в них необходимо иметь в виду следующее:

1. Толщи ураноносных конгломератов, гравелитов и кварцитов древних платформ формировались после громадного перерыва в осадконакоплении, в течение которого на поверхности относительно консолидированного архейского фундамента, вероятно, в условиях жаркого и влажного климата, возникла мощная кора выветривания. Последующий размыв этой коры в условиях возобновившихся тектонических движений, сопряженных с началом протерозойского осадконакопления в пределах краевых прогибов, как наиболее подвижных частях щитов, привел к появлению таких высокодифференцированных осадочных пород, как кварцевые конгломераты и кварцито-песчаники. Происшедшее в это же время изменение состава земной атмосферы (образование свободного кислорода) обусловило появление в конгломератовых толщах первых скопления органического вещества, способствовавшего осаждению ряда металлов (Тугаринов, Войткевич, 1966).

2. Размыв эпиархейской коры выветривания, а также гранитоидов и метаморфизованных вулканогенных пород фундамента сопровождался освобождением значительных количеств урана, тория, золота и других элементов, которые вовлекались в процессы миграции и седиментации. Их первичные скопления в последующем подвергались неоднократному размыву и переотложению в связи с циклическим (трансгрессивно-ре-

грессивным) развитием бассейнов седиментации верхнего структурного этажа. Об этом, в частности, свидетельствует многоярусность уранового оруденения в большинстве районов. Снос материала с областей суши, прилегавших к протерозойским геосинклинальным прогибам, происходил либо с севера на юг (Витватерсранд), либо с северо-запада на юго-восток (Блайнд Ривер), либо, под влиянием блоковых движений фундамента, с нескольких сторон (Балтийский щит).

3. Месторождения урановых, золотых руд и руд других металлов в формации докембрийских конгломератов приурочены к палеодепрессиям и связаны с деятельностью палеорек, палеопотоков, с прибрежно-баровым, прибрежно-пляжевым, морским мелководьем, свидетельством чему являются отчетливо выраженная косая слоистость соответствующего типа, волноприбойные знаки и многочисленные другие характерные литолого-фациальные и геохимические признаки осадочных толщ формации.

4. Урановое оруденение локализуется только в конгломератах, гравелитах и кварцитах и приурочено к цементу пород, где оно сопровождается характерной группой типично обломочных, а также новообразованных минералов.

5. Разрывные нарушения, широко развитые в районах развития ураноносных конгломератов, не оказывают влияния на процесс оруденения.

Указанные обстоятельства, а также многие другие факторы (частью изложенные автором в настоящей статье) дали основание большой группе ученых, изучавших докембрийские ураноносные конгломераты в различных районах мира, рассматривать их как древние метаморфизованные россыпи, т. е. как месторождения осадочно-метаморфогенного происхождения. В гипотезах других ученых, принимающих за основу осадочное происхождение уранового оруденения в конгломератах, делается попытка объяснить перенос урана не в виде обломков, а в форме ионных или коллоидных растворов, высаживавших металл в восстановительных условиях. Существуют предположения об инфльтрационном происхождении оруденения указанного типа. Наконец, долгие годы дискутируется вопрос о гидротермальном (эпигенетическом) генезисе уранового и золотого оруденения формации докембрийских конгломератов. Среди ученых, особенно настойчиво защищающих точку зрения об эпигенетическом происхождении, должен быть назван Дэвидсон, взгляды которого в последнее время претерпели существенные изменения\*. Так, теперь он в противоположность своим ранним взглядам, считает, что рудоносные флюиды имели не магматическое происхождение. Ими могли быть и грунтовые воды, проникшие в горизонты с высоким геотермическим градиентом и выщелачивавшие уран из пород, залегающих выше конгломератовых толщ. Минерализованная вода, нагреваясь в самых нижних проницаемых толщах, затем поднималась вверх, откладывая металлы в более холодных зонах конгломератовых рифов. Процесс циклического движения воды, по мнению Дэвидсона, мог продолжаться миллионы лет, прекращаясь лишь в результате потери породами проницаемости под влиянием регионального метаморфизма.

Из советских геологов в какой-то мере примыкает к взглядам Дэвидсона Ф. П. Кренделев (1965, 1967). Он считает, что ураноносные конгломераты претерпели эпигенетические преобразования в процессе регрессивного метаморфизма; в ходе его горячие растворы, возникшие при опускании прогибов, усваивали золото из основных пород и уран из гранитоидов при движении вверх и откладывали их в пористых кон-

\* Доклад Дэвидсона и дискуссия по нему в Лондонском институте горного дела и металлургии в 1964—1965 гг.

гломератах, цемент которых служил проводником растворов и ареной интенсивных химических реакций.

Таким образом, проблема генезиса формации золото-ураноносных конгломератов докембрия не может считаться решенной. Однако практика эксплуатации месторождений в ряде регионов и имеющиеся фактические геологические данные свидетельствуют, по мнению автора, в пользу первичного россыпного происхождения уранового оруденения указанной формации с последующим метаморфизмом и частичной регенерацией руд.

### *Вопросы крупномасштабного специализированного картирования формации ураноносных конгломератов*

Первоначальный выбор площадей для постановки крупномасштабных специализированных съемок и поисков производится по картам м-ба 1 : 500 000 (1 : 200 000). При дальнейшем изучении рудоносности конгломератов, помимо обычной геологической карты, должны составляться литолого-фациальные и палеогеографические карты, на которых необходимо отразить:

а) местоположение и литологический состав участков суши (областей сноса), питавших прилегающие прогибы терригенным материалом;

б) первичную ориентировку косої слоистости и галек конгломерата, положение волноприбойных знаков, трещин усыхания, плоскостей оползания и других признаков фациальной принадлежности конгломератов и вмещающих толщ;

в) положение сети древних рек и временных потоков (реконструкция);

г) направление сноса материала в период накопления осадков и вулканической деятельности;

д) характер геологического разреза в целом, наличие цикличности осадкообразования, характер изменения мощностей разреза, закономерности чередования осадочных и вулканогенных пород, состав, направление простираания и падения и соотношение с вмещающими породами даек, силлов и других интрузивных тел;

е) состав, размер и содержание кварцевых и других галек в конгломерате, степень их окатанности и сгруженности, наличие признаков метаморфизма галек;

ж) состав цемента, содержание в нем сульфидов, особенно пирита, наличие золота, степень и характер метаморфизма цемента.

Учитывая, что районы развития ураноносных конгломератов обычно плохо обнажены, в процессе крупномасштабного картирования и составления карт прогноза совершенно необходимо производство буровых и горных работ. Расстояние между профилями структурного бурения должно определяться литолого-фациальными особенностями конгломератов и вмещающих толщ, а также обычной причудливостью локализации оруденения в пластах (ленты, струи) и сравнительно небольшой их шириной. Данные буровых работ дадут представление о фациальной изменчивости разреза, о поведении радиоактивного (в ряде случаев комплексного) оруденения на глубине и содержании урана и тория (гамма-каротаж), а также позволят уточнить карты и разрезы.

Составляемая на основе вышеуказанных материалов прогнозная карта на урановое оруденение формации конгломератов должна содержать рекомендации о постановке первоочередных поисковых и специализированных съемочных работ с указанием конкретных площадей и методики исследований.

# УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

## УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В УГЛЕРОДИСТО-КРЕМНИСТОЙ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНОЙ ФОРМАЦИИ

В складчатых областях широко распространены ураносодержащие углеродисто-кремнистые сланцы. Они свойственны морским осадочным и вулканогенно-осадочным толщам палеозойского и редко позднепротерозойского возраста. Наряду с ураноносными сланцами в этих толщах встречаются пластовые фосфориты также с повышенным содержанием урана.

Ураносодержащие сланцы и фосфориты складчатых областей образуют геосинклиналиную первичноураноносную углеродисто-кремнистую формацию, в которой целесообразно выделять углеродистую, углеродисто-фосфорную и фосфорную субформации\*. Они различаются по типам первичноураноносных пород: в первой ураноносными являются углеродисто-кремнистые сланцы, во второй — углеродисто-кремнистые сланцы и фосфориты, а в третьей — только фосфориты.

В отложениях рассматриваемой формации сосредоточено огромное количество рассеянного урана и развито урановое оруденение различного генезиса. Образование рудных концентраций происходило во время накопления осадков, а также в результате мобилизации и перераспределения урана при метаморфизме, гидротермальной переработке и выветривании ураноносных пород. В соответствии с этим выделяются следующие типы уранового оруденения: осадочный, эпигенетический, связанный с деятельностью термальных растворов, и инфильтрационный в восстановительной и окислительной зонах (табл. 4).

Таблица 4

Типы уранового оруденения в отложениях геосинклиналиной первичноураноносной углеродисто-кремнистой формации

Тип оруденения	Урановые и ураносодержащие минералы	Полезные компоненты руд
Осадочный:		
а) в углеродисто-кремнистых отложениях	Уран находится в рассеянном состоянии и связан с углеродистым веществом и фосфатами	U, Y, Mo, TR, иногда Ni, Se, Re, Ag и др.
б) в фосфоритах	Ураносодержащие фосфаты	P, U
Эпигенетический, связанный с деятельностью термальных растворов	Настуран, иногда уранинит, браннерит	U иногда Mo, Ni
Инфильтрационный:		
а) в окислительной зоне	Ванадаты и фосфаты урана, ураносодержащие гидрокислы Fe и Mn	U, V иногда Cu, Mo, Ni, Ag, TR и др.
б) в восстановительной зоне	Настуран, урановые черни	U, иногда V, Mo, Ni, Ag, Se и др.

\* Ураносодержащие углеродистые сланцы, широко развитые в пределах платформ, образуют первичноураноносную платформенную формацию черных сланцев, на характеристике которой мы не останавливаемся.

Осадочное оруденение приурочено к отложениям с высокой концентрацией углеродистого вещества и фосфора. Оно подразделяется на два подтипа: а) урановое оруденение в углеродисто-кремнистых отложениях; б) урановое оруденение в фосфоритах. Образование ураноносных отложений происходило в зонах медленного накопления глинистых, кремнистых и фосфатных илов в результате извлечения урана из морских вод органическим веществом и фосфатами скорее всего в стадию раннедиагенетического изменения осадков.

Ураноносные отложения первого подтипа представлены черными тонкослоистыми обычно рассланцованными и пльчатými породами, главными компонентами которых являются кристоллический кремнезем, глинистые и слюдистые минералы и рассеянное углеродистое вещество (антраколит, перантрацит). Часто в них отмечаются кремнистые, карбонатные, фосфатные, пиритовые, иногда баритовые конкреции, тонкая вкрапленность сульфидов и многочисленные метаморфогенные прожилки кварцевого и карбонатно-кварцевого состава.

Уран и сопутствующие элементы — V, Mo, TR, Ni, Co, Rb, Zn, Ag, Sc, Se, Re и др. — находятся в рассеянном состоянии. Минералы урана не установлены. Основная масса его сосредоточена в углеродистом веществе; связь урана с ним непрочная, поэтому 60—80% урана находится в легко выщелачиваемой форме. Содержания U и  $C_{орг}$  связаны прямой пропорциональной зависимостью ( $C_{орг} : U = 1000 : 1$ ). Повышенное содержание урана отмечается также в фосфатных конкрециях. Торий-урановое отношение, как правило, не более 0,1—0,2. Малая величина торий-уранового отношения характерна также для ураносодержащих фосфоритов и для эпигенетических урановых руд, которые образуются в результате перераспределения урана.

Ураноносные отложения ассоциируют с различными по составу сланцами и кремнистыми породами типа фтанитов, образуя кремнисто-сланцевые пачки и свиты. Они залегают между песчано-сланцевыми и карбонатными свитами, совместно с которыми составляют геосинклинальную углеродистую кремнисто-сланцевую формацию.

Ураносодержащие углеродистые отложения залегают в виде горизонтов тонкопереслаивающихся (наиболее распространенные) и линзующихся пластовых залежей. Горизонты состоят из ритмично чередующихся рудных и нерудных прослоек. Первые сложены углеродисто-глинистыми и углеродисто-кремнистыми сланцами; вторые — кремнистыми породами типа фтанитов. Углеродистое вещество, уран и сопутствующие рудные элементы сконцентрированы в рудных прослойках.

Сингенетическое оруденение в углеродистых отложениях является комплексным, полезные компоненты руд — U, V, иногда Mo, TR (преимущественно иттриевой группы), Ni, Se и Be.

Все разновидности фосфатных пород кремнисто-углеродистой формации характеризуются несколько повышенным содержанием урана. Относительно большая концентрация его отмечается в темно-серых и черных фосфоритах, которые не содержат карбонатов и имеют примесь углеродистого вещества (1—3%) и сульфидов. Основными минералами их являются различные фосфаты из группы апатита; в подчиненном количестве всегда присутствуют кристаллический кремнезем, глинистые частицы и мелкие чешуйки слюды.

Уран не образует самостоятельных минералов и находится в рассеянном состоянии, главным образом в фосфатах и частично в углеродистом веществе. Он входит в кристаллическую решетку фосфатов, изоморфно замещая кальций. Связь урана с фосфатами является достаточно прочной, поэтому фосфориты, по сравнению с углеродистыми отложениями, менее благоприятны для мобилизации урана. В фосфоритах содержание урана увеличивается с возрастанием концентрации фосфора, но величина количественного соотношения между ними сильно

колеблется. Кроме урана, в фосфоритах часто отмечается повышенное содержание TR, V, Pb, Mo, Zn, Ni, Ag, Ba, Sr, As, Se и других элементов, которые (за исключением TR и V) имеют лишь геохимическое значение.

Ураноносные фосфориты образуют выдержанные по простиранию пласты и пластовые залежи различной протяженности и мощности, залегающие в карбонатных и кремнисто-сланцевых свитах. Иногда среди черных кремнистых пород типа фтанитов встречаются горизонты «желваковых фосфоритов» с многочисленными урансодержащими кремнисто-фосфатными конкрециями. В некоторых районах установлены фациальные переходы между фосфоритами и ураноносными углеродисто-кремнистыми сланцами.

Урансодержащие фосфориты характеризуются низкой концентрацией урана. Месторождения их как урановые не имеют промышленной ценности, однако при переработке фосфатных руд возможно попутное извлечение урана.

*Эпигенетическое урановое оруденение*, связанное с деятельностью термальных растворов, широко проявлено в областях развития пород углеродистой и углеродисто-фосфорной субформаций. Принадлежность его к эпигенетическим концентрациям, связанным с деятельностью термальных вод, определяется особенностями размещения оруденения, которое контролируется структурными факторами, а также морфологией рудных тел, неравномерным распределением рудного вещества и минеральной ассоциацией руд, иногда соответствующей рудам постмагматических гидротермальных месторождений.

Эпигенетические урановые концентрации встречаются в разной геологической обстановке, отличаются по минеральному составу и текстуре руд и особенностям структурных факторов, контролирующих размещение оруденения.

Урановое оруденение подчиняется двум типам структурного контроля: а) размещение рудных тел контролируется элементами складчатых структур (своды антиклиналей, шарнирные части синклиналей), участками сочленения складок разного направления, часто положением соскладчатых надвигов и послонных срывов; б) рудные тела размещаются в тектонических разрывах, секущих складки под разными углами. По-видимому, возможно совмещение в пространстве уранового оруденения обеих разновидностей.

Урановое оруденение первой разновидности представлено крупными пластообразными залежами бедных руд, расположенными в глинисто-сланцевых, реже известково-глинистых сланцах у тектонически нарушенного контакта этих пород с углеродисто-кремнистыми сланцами. Тончайшая вкрапленность окислов урана (настуран и урановые черни) распределяется неравномерно и ассоциирует с пиритом, конкрециями марказита, реже с халькопиритом, сфалеритом. Интенсивность рудной минерализации столь незначительна, что рудоносные сланцы без применения радиометрических методов не отличимы от «пустой породы». Отмечается повышенное содержание в рудах Ni, Pb, Mo, Cu, Zn, Co, V — элементов, присутствующих в несколько повышенных количествах и в рудовмещающих породах. Рудовмещающие сланцы слабо метаморфизованы в процессе регионального метаморфизма (фация зеленых сланцев).

В месторождениях второй структурной разновидности эпигенетического уранового оруденения рудные тела линзовидной и неправильной формы расположены в сколовых трещинах типа сбросов и сбросо-сдвигов, секущих складки под разными углами. Иногда рудовмещающие разрывы развиваются как зоны мелкообломочных брекчий в сводах антиклиналей. Вместе с тем в любом типе тектонических разрывов урановорудные тела приурочены, как правило, к участкам, где эти разрывы

пересекают пачки переслаивания углеродисто-кремнисто-глинистых и углеродисто-глинисто-известковистых пород. Иногда зоны рудоконтролирующих и рудовмещающих разломов трассируются серией даек и небольших штоков основного, среднего и умеренно кислого состава.

Руды тонковкрапленные, реже прожилково-вкрапленные. Они представлены метасоматитами с реликтовой брекчиевой текстурой или метасоматически преобразованными интенсивно трещиноватыми сланцами. Руды относятся к двум рудным формациям:

а) уранинито-браннеритовой с альбитом, моноклинным пироксеном, субщелочным амфиболом, биотитом, хлоритом, апатитом и незначительной примесью сульфидов — молибденита, пирита, халькопирита, сфалерита и галенита; подобные руды образуются в зонах минерализованных брекчий;

б) сульфидно-настурановой, сульфиды представлены пиритом, сфалеритом, бравоитом, пирротинном, арсенидами никеля, блеклыми рудами, галенитом, иногда присутствуют карбонаты, барит; эта разновидность руд характерна для зон интенсивной трещиноватости.

Геохимической особенностью руд уранинито-браннеритовой формации является невысокое содержание малых элементов и однотипность ассоциаций этих элементов в рудах и рудовмещающих породах. Характерно также крайне низкое значение величины отношения тория к урану, близкое к 0,05 (т. е. в десятки раз меньше отношения кларков этих элементов).

Рассматриваемое эпигенетическое урановое оруденение возникает при участии термальных растворов, циркулировавших по зонам повышенной трещиноватости и дробления. Образование его большей частью уверенно относится к периодам послескладчатому и после формирования даек. Недостаточно ясным остается вопрос о происхождении растворов. Предполагается, что уран мобилизован термальными растворами глубокой циркуляции из рудовмещающих (в широком смысле) толщ и переотложен в благоприятной тектонической и литологической обстановке. Месторождения этого типа встречены в районах широкой площадной зараженности ураном, в отложениях с повышенным геохимическим фоном по урану.

От руд постмагматических гидротермальных месторождений рассматриваемое урановое оруденение отличается рядом признаков, среди которых наиболее существенными являются: а) повышенное по отношению к кларку содержание урана в отложениях, слагающих рудоносную площадь; б) отсутствие околорудных изменений; в) геохимическое средство руд и рудовмещающих пород.

*Инфильтрационное оруденение.* В ураноносных отложениях углеродисто-кремнистой формации встречаются инфильтрационные скопления урана, возникшие в окислительной и в восстановительной обстановках в корях выветривания и в зоне циркуляции подземных трещинных вод. В ураноносных отложениях рассматриваемого типа наличие инфильтрационного оруденения отмечается главным образом в районах, которые находились (или находятся) в аридных областях и располагаются в пределах эпипалеозойских платформ.

Инфильтрационное урановое оруденение в окислительной зоне представлено уранованадатами и фосфатами урана (карнотит, тюямунит, сенжерит, торбернит, отенит и др.), уранофаном и различными урансодержащими минералами (гидроокислы железа, глинистые минералы типа каолинита, кальцита, опала и др.). В ассоциации с ними встречаются узбекит, фольбортит, малахит, азурит, хризоколла, алунит, аллофан, галлуазит, монтмориллонит, каолинит, гипс, барит, кальцит, сульфаты алюминия и магния и другие минеральные новообразования окислительной зоны. Урановые минералы образуют рассеянные чешуйки и чешуйчатые сростки, порошокватые присыпки, пленки и ко-

рочки. Скопления их отмечаются в трещиноватых и брекчированных породах по трещинкам кливажа и отдельности, в полостях выщелачивания и в рыхлой глинистой массе, цементирующей обломки пород. Наряду с ураном в повышенном количестве в рудах встречаются V, Cu, Ni, Zn, иногда Mo, Co, Pb, TR и Ag.

Рудные тела имеют форму линз, гнезд и сложных по конфигурации залежей, которые в большинстве случаев характеризуются неравномерным, прерывистым оруденением и быстро выклиниваются по простиранию и падению. В связи с этим считалось, что инфильтрационное оруденение в окислительной зоне является приповерхностным. Однако в последние годы выявлены участки с интенсивным развитием уранованадатовой минерализации и доказана возможность обнаружения достаточно крупных рудных тел не только вблизи поверхности, но и на глубине до 100—150 м. Наиболее благоприятными для локализации руд являются пачки переслаивания трещиноватых кремнистых пород и филлитовидных сланцев, межпластовые зоны дробления и шарнирные части коробчатых складчатых структур и прежде всего синклинальных складок.

Инфильтрационное урановое оруденение в восстановительной зоне изучено недостаточно. Оно представлено настуром, урановыми чернями и, возможно, коффином. В ассоциации с ними отмечаются пирит, мельниковит, марказит, углеродистое вещество, псиломелан, иногда сфалерит, халькопирит, борнит, халькозин и радийсодержащий барит. Урановые минералы образуют тонкую, часто дисперсную вкрапленность, выполняющую секущие волосовидные трещинки, отмечаются в виде гнезд и мелких желвачковых скоплений. В единичных случаях установлена приуроченность их к концентрически-зональным пирит-марказитовым конкрециям; настур и урановые черни в сростании с марказитом находятся в промежуточной зоне между ядром и внешней зоной конкреций, которые сложены пиритом.

Благоприятными для обнаружения инфильтрационных урановых руд в восстановительной зоне являются черные углеродисто-кремнистые породы с мелкопятнистым осветлением, а также серицитовые и хлорит-серицитовые сланцы с обильной вкрапленностью и конкрециями сульфидов. Образованию урановых минералов, вероятно, способствует повышенная карбонатность пород.

Урановые минералы концентрируются в верхней части восстановительной зоны, иногда размещение их контролируется уровнем грунтовых вод. Они встречаются также в нижней части зоны окисления, точнее в зоне пятнистого осветления, в краевых частях останцов черных углеродистых пород. Установлена приуроченность оруденения к пачкам переслаивания первичноураноносных углеродисто-глинистых сланцев с пиритсодержащими серицитовыми сланцами. Рудные скопления локализуются в сланцах и прослеживаются в восстановительной зоне по падению круто наклоненных пластов. Оруденение неравномерное и прерывистое. В повышенной концентрации в рудах отмечаются V, Mo, Zn, Cu, иногда Ni, Ag и Mn. Руды характеризуются нарушенным радиоактивным равновесием, смещенным в сторону урана и редко радия.

Из рассмотренных выше типов уранового оруденения практическое значение могут иметь эпигенетическая урановая минерализация, связанная с мобилизацией и переотложением урана термальными растворами, и инфильтрационное оруденение как в восстановительной, так и в окислительной зонах.

Мобилизация рассеянного урана легко осуществляется из ураноносных углеродисто-кремнистых пород, метаморфизованных в условиях фации зеленых сланцев. По сравнению с фосфоритами и менее метаморфизованными углеродистыми отложениями, они содержат большее количество подвижного (легко выщелачиваемого) урана. Геологиче-

ские процессы, обуславливающие мобилизацию и перераспределение значительных масс урана, проявляются в складчатых областях и иногда в активизированных зонах платформ. Следовательно, благоприятными для образования эпигенетических урановых руд в первичноураноносных отложениях рассматриваемого типа являются области развития пород углеродистой и углеродисто-фосфорной субформаций, а также районы распространения углеродисто-кремнистых сланцев в зонах активизации платформ.

В палеозойских складчатых областях первичноураноносные отложения участвуют в строении нижних структурных ярусов и на современных эрозионных срезах обнажаются преимущественно в ядрах крупных антиклинориев и мегантиклинориев. При благоприятных условиях уран, мобилизованный в первичноураноносных породах термальными восходящими растворами или артезианскими водами, мог переноситься на значительные расстояния и накапливаться в иных осадочных и магматических образованиях. Можно предполагать, что таким путем сформировались некоторые месторождения урана в верхних структурных ярусах палеозойских складчатых областей, которые обычно относятся к гидротермальному типу, а также инфильтрационные скопления урановых руд в водопроницаемых горизонтах осадочных толщ эпипалеозойских платформ. Связь их с первичноураноносными отложениями рассматриваемых формаций является трудно доказуемой и, вероятно, не всегда учитывается, особенно для месторождений постмагматического гидротермального генезиса.

Принимая во внимание роль первичноураноносных пород, как возможного источника урана в месторождениях различного генезиса, можно считать, что районы развития геосинклинальной углеродистой кремнисто-сланцевой формации являются перспективными для поисков урановых руд не только в самих ураноносных отложениях, но и в породах верхних структурных ярусов палеозойских складчатых областей, а также в осадочных толщах эпипалеозойских платформ.

С другой стороны, породы рассматриваемой формации являются благоприятной средой для локализации привнесенного урана, не связанного с процессами перераспределения, поэтому, наряду с указанными разновидностями урановой минерализации, в них может быть встречено урановое оруденение других генетических типов.

Перспективные районы занимают обширные площади и с позиции эпигенетического оруденения в первичноураноносных отложениях в большинстве своем изучены недостаточно. В таких районах необходимо проводить специализированное картирование м-ба 1:25 000 (1:50 000). Основными задачами его являются: 1) выявление геологических обстановок, которые благоприятны для образования в первичноураноносных отложениях промышленных скоплений эпигенетических урановых руд; 2) выделение локальных участков и структур для постановки поисковых работ.

При решении задач специализированного картирования геологический съемщик должен использовать наиболее характерные особенности рассмотренных выше разновидностей уранового оруденения, как тех, которые свойственны первичноураноносным отложениям, так и эпигенетических урановых руд, образующихся в результате мобилизации и перераспределения рассеянного урана в пределах этих же формаций.

При проведении **крупномасштабного специализированного картирования** в районах развития пород углеродистых и углеродисто-фосфорных субформаций геосинклинального типа рекомендуется:

I. В начале работ составить опорный разрез продуктивной толщи и выделить в рудоносной формации песчано-сланцевые, сланцевые, кремнисто-сланцевые, кремнисто-карбонатные и карбонатные пачки.

Первичноураноносные отложения с повышенным содержанием углеродистого вещества и фосфора сосредоточены в кремнисто-сланцевых и кремнисто-карбонатных пачках, которые являются наиболее благоприятными и для локализации эпигенетических месторождений урана. Для выявления ураноносных горизонтов при составлении разреза необходимо проводить послойное измерение интенсивности гамма-излучения.

II. Геологическое картирование целесообразно проводить в комплексе с пешеходной или автомобильной гамма-съемкой и магнитометрической съемкой м-бов 1 : 10 000 (1 : 25 000). При наличии коры выветривания желательна постановка электропрофилирования и вертикального электророндирования для определения глубины зоны окисления.

III. На геологической карте необходимо охарактеризовать литологические особенности первичноураноносной толщи и детали геологического строения района, которые являются благоприятными для возникновения эпигенетических скоплений урановых руд и указывают на возможность их обнаружения.

1. Поля распространения кремнисто-сланцевых и кремнисто-карбонатных пачек или свит. Пачки частого переслаивания углеродистых, углеродисто-глинистых и углеродисто-кремнистых сланцев с карбонатными отложениями и пиритсодержащими серицитовыми хлорит-серицитовыми сланцами. Участки развития пород с обильной вкрапленностью и конкрециями сульфидов, а также зоны проявления неравномерного пятнистого осветления черных углеродистых пород.

2. Горизонты и пластовые залежи пород с повышенным содержанием сингенетического урана,  $C_{орг}$  и P.

3. Особенности складчатых структур — тип и форма складок, положение осевых плоскостей, углы наклона крыльев, замыкание антиклинальных и синклинальных складок, места пересечения продольных складчатых структур с наложенными поперечными складками, что необходимо для выделения участков под поиски эпигенетических урановых руд.

4. Разрывные нарушения: а) разломы длительного развития и глубокого заложения, как структуры, благоприятные для циркуляции восходящих термальных растворов; б) разрывные нарушения, генетически связанные со складчатыми движениями (зоны послойного расслаивания и дробления в сводовых частях складок, соскладчатые надвиги и сбросы); эти структуры благоприятны для локализации эпигенетических урановых руд; в) минерализованные зоны дробления с указанием особенностей минерализации (окварцевание, серицитизация, альбитизация и т. д.).

IV. К геологической карте должны быть приложены:

1. Схема распространения минеральных парагенезисов, соответствующих различным фациям регионального и контактового метаморфизма.

2. Геохимическая карта, составленная по данным опробования коренных пород. На карте следует показать ореолы V, Mo, Cu, Pb, Ni, Y, Ag и As.

3. Радиометрическая карта с аномалиями гамма-поля и пунктами проявления урановой минерализации.

4. Карта природных условий, необходимая для оценки надежности результатов радиометрической съемки, правильной интерпретации их и планирования детальных поисковых работ. На карте надо показать участки развития четвертичных отложений с мощностью 0—2, 2—5 м и больше 5 м, а также отразить генетический тип и литологический состав четвертичных пород. При составлении этой карты рекомендуется применять метод дешифрирования аэрофотоснимков.

V. При наличии коры выветривания необходимо определить тип коры, условия, время и продолжительность ее формирования, а также оценить возможную глубину зоны окисления.

VI. Выявленные в процессе работ урансодержащие отложения и продукты их изменения должны быть опробованы с определением в пробах U и Ra (полный радиометрический анализ в порошках), V, Mo, Y, Yb, La, Ce, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Ag, Sr, Sc, Ba, P (полуколичественный спектральный анализ) и Se (качественная реакция с хлористым оловом). Опыт работ показывает, что для окончательной характеристики проб с ненарушенным радиоактивным равновесием требуется провести контрольные определения урана химическим путем в 10% проб с содержанием урана 0,01%. В пробах с нарушенным радиометрическим равновесием количество контрольных определений урана должно быть увеличено до 20%. После проведения указанных анализов рудные пробы группируются по типам и разновидностям руд. Из каждой группы необходимо выбрать одну-две наиболее типичные пробы и провести химическое определение U, радиохимический анализ Ra, Th, количественный спектральный и изотопный анализ валового Pb. В ураноносных углеродистых отложениях и фосфоритах желательно определение  $C_{орг}$  и P в серии проб с различным содержанием урана.

VII. Результаты анализа проб должны быть дополнены расширенной характеристикой опробованных пород и руд. Кроме обычного описания (название, состав, текстура, особенности залегания), необходимо привести данные о вторичных изменениях и интенсивности их проявления, а также сведения о наличии и особенностях распределения вторичных урановых и урансодержащих минералов с указанием примерного содержания их.

В результате анализа геологической карты и накладок составляется прогнозная карта м-ба 1 : 25 000 или 1 : 50 000, на которой должны быть выделены площади, заслуживающие постановки глубинных поисков месторождений урана, и показана очередность проведения поисковых работ. К первоочередным следует относить участки, где по совокупности геологических и геохимических данных можно ожидать обнаружения эпигенетических урановых руд, образование которых связано с перераспределением урана термальными растворами.

Перспективность площадей, выделенных для постановки глубинных поисков, необходимо подтвердить единичными поисково-оценочными скважинами.

#### **ЭКЗОДИАГЕНЕТИЧЕСКИЕ СЕЛЕНО-УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ДРУГИЕ ТИПЫ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПЕСТРОЦВЕТНЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПОЗДНЕОРОГЕННЫХ СТРУКТУР**

Пестроцветные терригенные лагунно-континентальные отложения девонско-каменноугольного возраста широко распространены в структурах позднеорогенных стадий развития складчатых областей (позднеорогенные впадины, краевые прогибы и т. д.) и во многих случаях несут урановое оруденение преимущественно двух генетических групп.

Оруденение первой группы связано с сорбцией урана фосфатными соединениями, костными и углистыми остатками, гидроокислами железа и т. д. в стадию седиментогенеза (сингенетический тип). Проявления урановой минерализации этого типа локализуются преимущественно в известково-терригенных или карбонатных породах (известковистые алевропсаммиты, мергели, глинистые и песчаные известняки и т. п.), отлагавшихся в условиях засоленных бассейнов типа внутриконтинентальных морей или лагун. Они представлены нередко значительными по площади пластообразными залежами, имеющими сравнительно небольшие мощности, и обычно характеризуются убогими содер-

жаниями урана в рудах. Нередко устанавливается прямая пропорциональная зависимость между содержаниями урана и фосфора и обратно пропорциональная между мощностью рудоносных пластов и содержаниями урана и фосфора.

Оруденение второй группы возникло в результате окислительно-восстановительных процессов в подземных водах при формировании рудовмещающих толщ (экзодиагенетический тип), либо под воздействием кислородсодержащих вод на сформировавшиеся осадочные породы (эпигенетический тип).

В позднеорогенных пестроцветных отложениях может быть намечено несколько специфических для каждого типа геологических обстановок, где наиболее часто возникает сочетание благоприятных условий образования урановых месторождений. Для экзодиагенетического типа оруденения к их числу относятся области фациального замещения пестроцветных отложений красноцветными и палеоруслу аллювиальных долин, для эпигенетического типа — древние зоны пластового окисления.

Вероятны урановые месторождения в разрушенных нефтегазоносных структурах, однако примеров месторождений этого типа в позднеорогенных пестроцветных отложениях пока не известно.

### *Экзодиагенетические селено-урановые месторождения в областях фациального замещения пестроцветных отложений красноцветными в древних аллювиальных долинах*

На одном из месторождений этого типа урановое оруденение локализуется среди аллювиальных пестроцветных отложений девонского возраста в области замещения их пролювиальными красноцветными породами. Толща девонских отложений образует асимметричную приразломную складку, одно из крыльев которой крутопадающее (до запрокинутого), а другое имеет пологое падение. С конгломератами в основании она залегает на близких по возрасту вулканогенных породах среднего и кислого состава, прорванных пестрыми по составу субвулканическими интрузиями. В вулканогенных породах известны проявления гидротермальной урановой минерализации. В региональном плане район месторождения примыкает к зоне долгоживущего глубинного разлома и располагается в краевой части позднеорогенной впадины.

Продуктивная свита, залегающая в основании девонской толщи, сложена преимущественно красноцветными пролювиальными отложениями (песчаники, гравелиты, конгломераты, прослои и линзы алевролитов и карбонатных пород), заключающими пачку пестроцветных пород аллювиального происхождения. Урановое оруденение локализуется среди аллювиальных пестроцветных отложений, вблизи контакта их с пролювиальными красноцветными породами.

В составе пестроцветных отложений главную роль играют серые, серо-розовые, розовые и розовато-красные полимиктовые песчаники с прослоями зеленых и иногда лиловых алевролитов и автокластических брекчий (т. е. брекчий размывов) и линзами и желваками известняков. Породы образовались в долинах равнинных рек с умеренным течением, старицами и озерами, в поймах с заболоченными берегами. Для них характерны сравнительно хорошая сортировка и окатанность кластического материала, многоярусная однонаправленная косая слоистость потокового типа, наличие углефицированных растительных остатков и вкрапленность сульфидов и селенидов.

Мощность пачки аллювиальных пестроцветных отложений изменяется от 400 до 100 м, что обусловлено постепенным вытеснением ее вверх по разрезу пролювиальными красноцветными породами. В обла-

сти фациального перехода пролювиальных отложений в аллювиальные последние приобретают необычную для них красноцветную окраску, вторичный характер которой устанавливается, в частности, по наличию обломков зеленых алевролитов (свойственных исключительно отложениям аллювиального комплекса) с вишневой или буровато-коричневой коркой.

Глубина проникновения вторичной красноцветной окраски в аллювиальный комплекс пород различна. На более значительные расстоя-

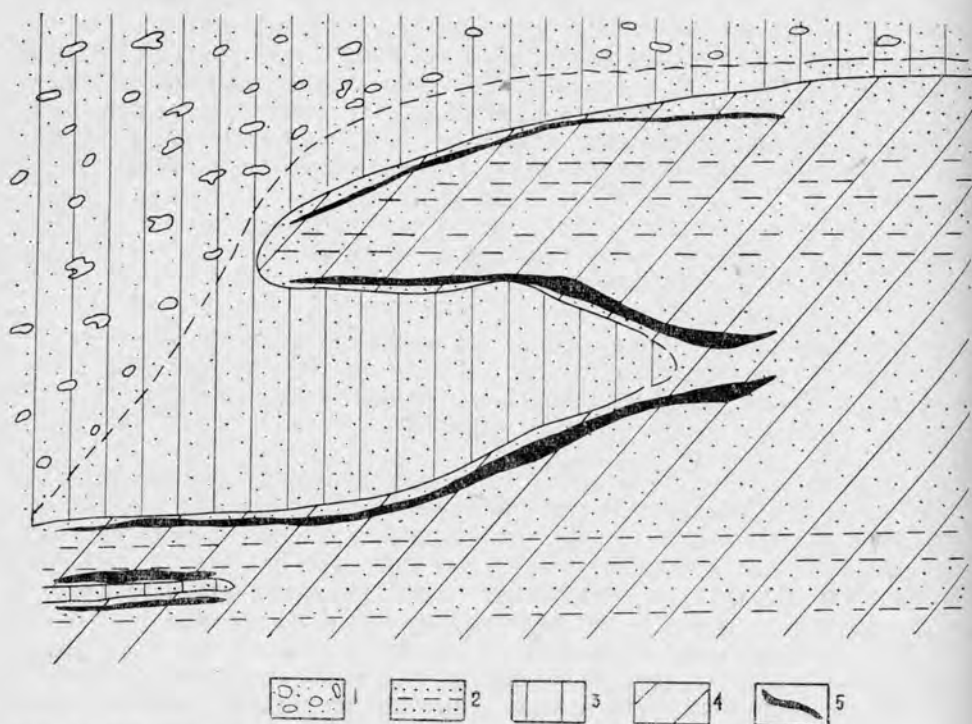


Рис. 3. Локализация уранового оруденения в зонах фациального замещения пестроцветных отложений красноцветными.  
 1 — пролювиальные отложения; 2 — аллювиальные отложения; 3 — красноцветные породы; 4 — пестроцветные породы; 5 — рудные тела.

ния (до первых сотен метров) она распространена вдоль пластов относительно грубозернистых пород (крупно- и среднезернистые песчаники, гравелиты), в связи с чем в пестроцветных аллювиальных отложениях по отдельным пластам возникли своеобразные «залиты» или «ниши» вторично окрашенных красноцветных аллювиальных пород (рис. 3). Глубина таких «залитов» вкост простираия достигает первых сотен метров, по простираию они протягиваются на несколько километров.

Рудные тела, представляющие собой линзовидные залежи в песчаниках и гравелитах, чаще всего приурочены к «залитам» красноцветных пород в аллювиальном комплексе отложений и непосредственно локализуются в сероцветных породах вблизи контакта с красноцветными. Окраска собственно рудовмещающих пород преимущественно розово-серая или розовая и густая кирпично-красная. В кластическом материале преобладают кварц, полевые шпаты, халцедон, кислые эффузивы, алевролиты, пелиты и кварциты. Цемент рудоносных песчаников преимущественно кальцито-ломонтитовый. Обычны аутигенные слюды, хлорит, барит, целестин, различные сульфиды и селениды.

Урановое оруденение, концентрирующееся в цементе песчаников и гравелитов, представлено урановой чернью, силикатами, ванадатами и молибдатами урана. Характерными спутниками урана являются ванадий, молибден и селен, а также барий и стронций. Часто урану сопутствуют медь, цинк, свинец, мышьяк, титан, кадмий и некоторые другие элементы.

Совокупность фацциально-литологических и минералого-геохимических особенностей пестроцветных и красноцветных отложений и особенности локализации в них уранового оруденения свидетельствуют о возникновении последнего в процессе окислительно-восстановительных реакций в поровых растворах, протекавших на контакте сероцветных и красноцветных пород аллювиального комплекса отложений, вероятнее всего в период, близкий времени образования и литификации этих отложений (в стадию диагенеза). Ураноносные воды с высоким окислительно-восстановительным потенциалом поступали из области накопления пролювиальных пород в область развития аллювиальных отложений, занимавших в рельефе наиболее пониженные части и характеризовавшихся восстановительными геохимическими условиями. Уран осаждался на восстановительном геохимическом барьере. В зоне контакта пролювиальных и аллювиальных отложений ураноносные воды проникали в аллювиальные отложения на разную глубину (в зависимости от их водопроницаемости), что обусловило возникновение извилистого контакта («залиты», «ниши») между породами, окрашенными в красноцветные и пестроцветные тона.

При соприкосновении ураноносных вод с восстановительным геохимическим барьером последний постепенно отступал вглубь аллювиальных отложений вместе с возникавшими при этом повышенными концентрациями урана и его элементов спутников — ванадия, молибдена и др.

### ***Урановое оруденение в палеорусле в позднеорогенных формациях***

Это оруденение также типично для континентальных красноцветных и пестроцветных толщ. Как установлено в некоторых районах, ураноносные палеорусле тяготеют в основном к краевым частям своеобразных желобообразных или валоподобных структур в континентальных толщах, которые характеризуются линейной вытянутостью на многие десятки и даже первые сотни километров при ширине от первых до 10 и более километров. Мощность континентальных красноцветных отложений, вмещающих отложения ураноносных палеорусел, в желобообразных структурах в 2—2,5 раза превышает мощность этих же отложений за их пределами. Валоподобные структуры отличаются пониженной мощностью продуктивных красноцветных толщ. Ураноносные палеорусле обычно локализуются в краевых частях указанных структур, на участках максимального градиента мощности продуктивных толщ.

За пределами полей распространения пестроцветных отложений, в подстилающих их позднеорогенных вулканогенно-интрузивных породах и в фундаменте позднеорогенных впадин эти структуры фиксируются системами параллельных разломов, иногда контролирующими гидротермальное урановое оруденение.

Песчаники, гравелиты и конгломераты, выполняющие ураноносные палеорусле, обычно полимиктового состава со сравнительно слабой сортировкой и окатанностью кластического материала, грубой многослойной косою слоистостью потокового типа, часто наличием углефицированных растительных остатков в составе кластического материала, местными размывами, приводящими нередко к образованию автокластических брекчий, а также типичными для русловых отложений морфоло-

гическими особенностями залегания пород. Обычно ураноносные палеорусла врезаны в толщи алевропсаммитовых или глинистых пород.

Рудные тела, имеющие неправильную или линзовидную форму, чаще всего локализуются в придонных частях палеорусел или приурочены к местам концентрации углефицированных растительных остатков.

Возникновение повышенных концентраций урана в отложениях палеорусел связано с деятельностью подрусловых потоков и, возможно, более поздних просачивающихся грунтовых вод. В этих отложениях, благодаря наличию растительных остатков или в связи с особенностями состава кластического и аутигенного материала или по каким-либо другим причинам (например, в связи с привнесом битумов), создавались восстановительные геохимические условия, при которых воды подрусловых потоков сбрасывали избыточное количество урана (в виде окислов, ванадатов, фосфатов, силикатов и т. д.), а также молибдена, селена, ванадия, иногда меди, свинца и других спутников урана в этом типе оруденения. Такие экзодиагенетические концентрации урана характерны для пестроцветных отложений позднеорогенных впадин.

### *Эпигенетическое урановое оруденение, связанное с древними зонами пластового окисления в позднеорогенных пестроцветных формациях*

Для образования урановых месторождений этого типа можно наметить следующий комплекс благоприятных условий:

1. Наличие пластов легко водопроницаемых пород (слабосцементированные песчаники, гравелиты и т. п.), заключенных среди водупорных горизонтов (различные глинистые породы).

2. Наличие в водопроницаемых породах повышенных рассеянных концентраций урана осадочно-сингенетического или осадочно-диагенетического происхождения, а также веществ, способствующих восстановлению поровых окислительных водных растворов (битумы, углефицированные растительные остатки, сульфиды и т. д.).

3. Слабая степень метаморфизма и дислоцированности пород, что, по-видимому, обеспечивает оптимально благоприятную для образования уранового оруденения скорость просачивания поровых растворов.

На одном из известных месторождений этого типа урановые руды образуют линзовидные залежи на участке выклинивания зоны пластового окисления в песчаниках и гравелитах, характеризующихся повышенными рассеянными концентрациями урана сингенетического и осадочно-диагенетического происхождения. Настуран и урановые черны тесно ассоциируют с углефицированными растительными остатками и иногда с флюоритом. Спутниками урана являются молибден и селен. Благоприятное влияние на локализацию оруденения оказывают различного рода структурные факторы: изменение углов падения пластов, флексурные перегибы и т. д.

Как показывает анализ особенностей ураноносных рудных образований осадочно-диагенетического и эпигенетического типа, необходимыми условиями, оказывающими, по-видимому, решающее влияние на возникновение уранового оруденения рассматриваемой генетической группы в пестроцветных отложениях, являются следующие:

1. Наличие движущихся подземных поровых вод, обладающих относительно высоким положительным окислительно-восстановительным потенциалом и повышенным содержанием растворенных соединений урана. Исходное содержание урана в водах должно превышать пределы растворимости его соединений при изменении окислительного потенциала на восстановительный.

2. Среда рудообразования должна характеризоваться геохимической гетерогенностью, а именно: на пути движения поровых вод дол-

жны находиться восстановительные геохимические фации. Наиболее благоприятными восстановителями урана являются углефицированные растительные остатки, битумы, сульфиды железа и т. д.

3. Подток просачивающихся (но не свободно переливающихся) подземных вод с высоким окислительно-восстановительным потенциалом и повышенным содержанием урана должен быть более или менее постоянным и достаточно длительным, чему способствует постоянство тектонического режима и слабая степень дислоцированности и метаморфизма рудовмещающих толщ в период рудообразования.

Важное значение при изучении закономерностей размещения осадочно-диагенетического и эпигенетического уранового оруденения в пестроцветных отложениях имеет выяснение источника урана в рудообразующих растворах. Решение этого вопроса в большинстве случаев связано с серьезными трудностями.

Теоретически мыслимы по крайней мере три способа обогащения ураном рудообразующих растворов. Первым из них является выщелачивание урана кислородными водами из пород областей питания, а также кластического и аутигенного материала рудовмещающих толщ. Другой вероятный способ обогащения ураном рудообразующих растворов обусловлен явлением испарительной концентрации в аридных климатических зонах. Наконец, вполне возможно возникновение повышенных концентраций урана в рудообразующих растворах, благодаря смешению поверхностных вод с эндогенными (в частности вулканическими) водами, несущими растворенные соединения урана.

Имеющийся фактический материал позволяет наметить следующую общую закономерность: практически все известные более или менее значительные урановые месторождения в позднеорогенных пестроцветных формациях установлены в тех регионах, где распространены близкие им по времени образования или несколько более поздние вулканогенно-интрузивные образования, с которыми связана гидротермальная урановая минерализация. В позднеорогенных структурах, где отсутствуют вулканогенно-интрузивные или какие-либо другие образования, которые могли бы указывать на возможность проявления эндогенной гидротермальной деятельности, близкой по времени образованию пестроцветных отложений, урановое оруденение проявлено очень слабо. Кроме того, на ряде примеров палеозойских позднеорогенных впадин можно видеть, что урановое оруденение в пестроцветных формациях проявлено значительно интенсивнее в отложениях, наиболее близких по возрасту к заключительным стадиям позднеорогенного вулканогенно-интрузивного магматизма. Более ранние и более поздние по сравнению с ними отложения пестроцветных формаций характеризуются значительно менее интенсивным урановым оруденением.

Очень часто урановые месторождения, возникшие в результате окислительно-восстановительных реакций в поровых растворах позднеорогенных пестроцветных отложений, локализируются вблизи разрывных нарушений, активизированных в период формирования рудовмещающих толщ и оруденения. В ряде случаев установлена связь с этими нарушениями в фундаменте позднеорогенного гидротермального уранового оруденения.

Учитывая особенности локализации, условия образования и происхождения уранового оруденения в пестроцветных лагунно-континентальных отложениях позднеорогенной стадии развития складчатых областей, при крупномасштабном геологическом картировании в перспективных на этот тип оруденения районах должно предусматриваться составление комплекса карт, необходимых для обоснованного прогнозирования урановых месторождений и проведения поисковых работ. Выбор района под крупномасштабное картирование, как правило, производится на основе мелкомасштабной геологической карты (м-б

1 : 200 000—1 : 1 000 000) и мелкомасштабных фашиально-палеогеографических карт (м-б 1 : 200 000—1 : 1 000 000) для времени формирования позднеорогенных формаций. В комплексе карт для крупномасштабного картирования, помимо геологической карты и разрезов к ней, в качестве обязательных должны входить следующие карты: литолого-фашиальная, палеогеографическая, тектоническая, а также радиометрическая и радиогидрохимическая карты, которые являются основными документами для составления карты прогноза урановых месторождений.

На литолого-фашиальных картах позднеорогенные пестроцветные отложения должны быть расчленены по условиям образования. При этом среди них целесообразно выделять: а) отложения длительно действующих рек, временных потоков, мелководных пересыхающих бассейнов; б) отложения лагун, озер, прибрежно-морские, подводных дельт; в) морские.

На этих картах должны быть отражены литологический состав и окраска пород. Особое внимание следует уделять изменениям окраски пород (существенно красноцветные, пестроцветные или перемежающиеся красноцветные, сероцветные и пр., существенно сероцветные и другие породы). При картировании существенно красноцветных или пестроцветных континентальных терригенных отложений важное значение имеет изучение изменений литологического состава пород и оттенков их окраски, а также степени сортированности и окатанности кластического материала, характера цемента, структурно-текстурных особенностей (типов и ориентировки косой слоистости, внутриформационных размывов и т. д.). Необходимо изучение изменений мощности отложений, которые целесообразно отражать в виде схем-накладок изопакит. Полуточные данные должны лечь в основу выделения на карте областей распространения русловых отложений, зон фашиального замещения аллювиальных пестроцветных отложений пролювиальными красноцветными — возможных обстановок локализации урановых месторождений в позднеорогенных пестроцветных формациях.

Учитывая особенности размещения уранового оруденения в древних зонах пластового окисления, на литолого-фашиальных картах необходимо показывать пласты относительно водопроницаемых пород, характеризующихся признаками поверхностного окисления и наличием восстановителей. Среди лагунно-озерных, мелководно-морских, прибрежно-морских, дельтовых, озерно-болотных отложений целесообразно выделение прослоев пород, обогащенных костными ископаемыми остатками, углефицированным детритусом и фосфатным веществом.

На палеогеографических картах, помимо реконструкции речной сети, контуров и других особенностей бассейнов осадконакопления различных типов, должны быть отражены области их питания, направление сноса, показаны эпицентры вулканической деятельности, а также данные, свидетельствующие о палеоклиматических условиях, в частности для аридных зон — участки загипсования, глиптоморфозы, участки развития трещин усыхания и т. п.

Тектоническая карта должна отражать основные и второстепенные структуры, свойственные пестроцветным формациям, и сопровождаться схемами изопакит для отдельных стратифицированных комплексов отложений (прежде всего континентальных) с целью возможного выделения тектоно-аккумулятивных структур, (типа «желобообразных» или «валоподобных»), контролирующих в отдельных районах размещение уранового оруденения. Существенное внимание при составлении тектонической карты должно быть уделено отражению разрывных нарушений.

Радиометрическую и радиогидрохимическую карты рекомендуется составлять на контурной геологической основе. Радиометрическая карта составляется по данным радиометрических наблюдений, которыми в

обязательном порядке должны сопровождаться все геологические маршруты.

Методика составления и требования к радиометрической и радиогидрохимической картам изложены в соответствующих инструкциях.

На основе перечисленного комплекса карт с учетом закономерностей локализации уранового оруденения рассматриваемых типов составляется прогнозная на уран карта.

На прогнозной карте-накладке, помимо общих для такого рода карт сведений (проявления урановой минерализации, радиометрические эманационные, геохимические и радиогидрохимические аномалии и геохимические ореолы рассеяния элементов-спутников уранового оруденения), должны быть показаны предполагаемые границы зон фациального замещения красноцветных пролювиальных отложений аллювиальными пестроцветными, палеорусл, выходы на поверхность пород, благоприятных для развития зон пластового окисления. При наличии данных (в том числе приблизительных) о глубине залегания перечисленных зон, участков и границ, их необходимо отражать на прогнозной карте. Различными контурами на прогнозной карте-накладке должны быть показаны площади, перспективные для проведения поисковых работ. Эти площади в зависимости от степени их обоснованности следует дифференцировать по масштабу и очередности проведения поисков.

При проектировании крупномасштабного геологического картирования на площадях распространения перспективных по урану пестроцветных отложений в позднеорогенных структурах, часто плохо обнаженных, необходимо предусматривать проведение определенного комплекса поверхностных горных работ и ограниченных объемов бурения. Горные выработки и скважины колонкового бурения должны быть использованы прежде всего для составления детальных разрезов, изучения морфологии и особенностей строения зон фациального замещения пролювиальных и аллювиальных комплексов отложений, палеорусел, зон пластового окисления, вскрытия и изучения радиометрических аномалий и геохимических ореолов и подсечения уранового оруденения на глубине, ниже зоны поверхностного окисления.

## УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ МОЛОДЫХ ПЛАТФОРМ

### ОСАДОЧНЫЕ СОРББИОГЕННЫЕ ФОСФОРНО-УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Осадочные концентрации урана, связанные со скоплениями костных остатков рыб и морских животных в горизонтах палеогеновых глин, установлены в краевой части эпигерцинской платформы.

В этом типе руд, помимо урана, в качестве полезных компонентов содержатся фосфор, сера, редкие земли, иттрий, скандий и др. Залежи подобных руд вытянуты в виде пластово-линзовидных тел. По простиранию они постепенно выклиниваются и переходят в глины с рассеянными костными остатками. Местами залежи, выклиниваясь, расщепляются на несколько тонких пропластков.

*Положение в региональных и локальных структурах.* В палеогеографическом отношении окраина эпипалеозойской платформы в палеогеновое время была занята обширным материковым шельфом. На площади последнего выделяются три фациальные зоны, отличающиеся друг от друга разной глубиной бассейна и вследствие этого различной мощностью и различным литологическим составом осадков.

Рудные залежи известны только в средней зоне — переходной между мелководной и глубоководной частями шельфа. В глубоководной

части скопления костного детрита, как и в батинальных зонах моря, встречаются локально, только на участках устойчивых поднятий в рельефе морского дна.

Фациальные зоны	Вероятная глубина бассейна, м	Состав осадков	Максимальная мощность осадков продуктивной толщи, м
Мелководная	0—100	Пески, песчанистые и алевритистые глины	100
Средних глубин	100—200	Глины, слабоалевритистые глины с широким развитием скоплений костного детрита рыб	250—300
Глубоководная	200—500	Глины, слабоалевритистые глины с локальными линзовидными скоплениями костного детрита	300—600

Рельеф оказывал существенное влияние на условия формирования рудных залежей и, в частности, на концентрацию костных остатков. Установлено, что районы развития месторождений сорбобиогенных фосфорно-урановых (органогенно-фосфатных) руд приурочены к областям поперечных поднятий, осложняющих продольные погружения более крупного порядка. Локальные структуры с рудными залежами могут располагаться в осевых частях более крупных прогибов, на крыльях этих прогибов и даже вблизи разделяющих их сводов. Однако в каждом случае степень насыщенности костных остатков ураном закономерно увеличивается в направлении к осевым частям прогибов, т. е. от относительно мелководных к более глубоководным участкам морского палеобассейна.

Пласты руд, как правило, слоистые за счет чередования тонких прослоек темных (почти черных) глин, обильно насыщенных костными остатками и мельниковитом, с более светлыми прослоями глин, где костные остатки и мельниковит отсутствуют или содержатся в небольшом количестве. На поверхности и вблизи от нее руды приобретают пеструю ржаво-бурую окраску, обусловленную окислением сульфидов железа, образованием гипса, ярозита, лимонита и сложных сульфосолей. Одновременно с этим в зоне окисления за счет новообразований увеличивается мощность пластов.

Рудные залежи стратиграфически приурочены к нижней части рудоносного комплекса пород. В разрезе этой толщи выделяется несколько рудных горизонтов. В каждом из них пластовые скопления костных остатков рыб размещены локально и главным образом в нижней их части, что вполне согласуется с тем, что в начальном периоде ритма накапливается более грубый материал. Выше по разрезу в пределах рудных горизонтов постепенно уменьшается количество остатков рыб и появляются светлые слабоалевритистые глины, иногда с ходами илоедов. Наиболее мощным и выдержанным на значительной площади оказался нижний горизонт, к которому приурочены наиболее крупные рудные залежи. Рудные горизонты максимально сближаются на участках локальных палеоподнятий и разобщаются в палеопрогибах.

*Морфология оруденения.* Площади рудных залежей колеблются в значительных пределах. Рудные ореолы, литологически представленные теми же породами, но с более убогим содержанием костных остатков и слабой радиоактивностью, во много раз (иногда в 10 и более) превышают размеры самих рудных залежей по площади в разрезе. Это обстоятельство значительно облегчает поиски месторождений данного типа.

Большинство рудных залежей имеет вытянутую форму и в плане по этому признаку могут быть выделены два морфологических типа:

а) рудные залежи с длиной, превышающей ширину в 3—5 раз; б) резко вытянутые «рукавообразные» рудные залежи с длиной больше ширины в 10—20 раз. Рудные залежи являются либо компактными (нерасслоенными), либо образуют расслоенные рудные скопления наподобие «конского хвоста». Компактная часть таких залежей постепенно выклинивается в направлении палеоподнятий, а хвостовая, наоборот, за счет непрерывного увеличения мощности безрудных прослоев превращается в тонкие рудные прослойки и, наконец, в обычные присыпки костного материала по плоскостям наслонения глин.

*Вещественный состав руд.* Основными компонентами руд являются: 1) костные остатки рыб и морских животных, 2) дисульфиды железа и 3) глинистое вещество. Иногда присутствуют карбонаты и обуглившиеся растительные остатки. По вещественному составу отдельные рудные залежи отличаются только количественным соотношением перечисленных компонентов. Уран повсеместно связан только с костными остатками, количеством которых в конечном счете и определяется общее содержание его в руде.

Размер костных остатков колеблется от сотых долей до одного-двух миллиметров, реже встречаются отдельные более крупные обломки до 20 см в поперечнике (позвонки и ребра китовых и целые скелеты рыб). Общее количество костных остатков в рудных залежах колеблется от 3—5 до 30—50%, причем иногда такие колебания наблюдаются в пределах одного и того же пласта. Руды с большим количеством костных остатков слабо сцементированы, что во многих случаях затрудняет подъем керна при разбуривании рудного пласта.

Костные остатки состоят в основном из фосфата кальция (апатит). Помимо фосфора, они содержат уран, редкие земли, скандий. Содержание урана в самих остатках непостоянно и в некоторой мере зависит от их размера, но главным образом от геохимической обстановки среды рудообразования. Степень насыщенности костных остатков ураном принято выражать в виде уран-фосфорного коэффициента, т. е. частного от деления содержания в рудах урана на пятиокись фосфора. Для руд, формирующихся в глубоководных, резко восстановительных условиях, этот коэффициент близок к 0,01, а для менее благоприятных мелководных условий он понижается до 0,005—0,008.

Содержание редкоземельных элементов в рудных залежах колеблется от 0,1 до 0,5%, реже больше, преобладает цериевая группа. Некоторые рудные залежи с убогим содержанием урана характеризуются в то же время высоким содержанием пятиоксида фосфора и суммы редких земель и могут быть отнесены к самостоятельным фосфорно-редкоземельным месторождениям.

Самостоятельных урановых и редкоземельных минералов в залежах органогенно-фосфатных руд не установлено. Предполагается, что большая часть этих элементов находится в изоморфном состоянии; небольшая часть урана сорбирована на фосфате или образует комплексные урано-фосфатные соединения. Содержание фосфора зависит от количества костных остатков в руде.

Сульфиды железа представлены в основном мельниковитом (70—90%), в меньшей мере мелкокристаллическим пиритом и крупнокристаллическими агрегатами пирит-марказита (10—30%). Общее содержание сульфидов железа в рудных пластах колеблется от 5 до 30—50%, а содержание связанной с ним сульфидной серы в максимальных случаях достигает 15—25%. В сульфидах железа содержатся незначительные количества молибдена (0,02—0,1%), кобальта (0,04—0,9%) и никеля (0,2—0,4%).

Глинистые минералы в рудных пластах составляют 30—70%, причем большая их часть концентрируется в тонких совершенно безрудных прослойках.

В целом рудные пласты, будучи более пористыми образованиями, чем вмещающие их плотные глины, обладают повышенной влажностью (10—20%) и содержат небольшое количество азота, углекислоты и метана.

*Условия формирования месторождений.* Условия формирования фосфорно-урановых (органогенно-фосфатных) месторождений остаются еще окончательно невыясненными. Многие исследователи полагают, что оруденение этого типа является осадочным, сорбобиогенным. Наиболее важной причиной скопления огромных масс костного детрита является пышный расцвет ихтиофауны и периодическая ее массовая гибель. Появление в определенные геологические периоды массы остатков костистых рыб обусловлено эволюцией атмосферы, гидросферы и органического мира. Общее уменьшение содержания  $\text{CO}_2$  в биосфере обусловило в конце кайнозоя не только массовое развитие в морском бассейне фосфатонесущих организмов, особенно костистой ихтиофауны, но сохранение их в осадках при отмирании. Все это, наряду с резким уменьшением количества осаждающихся карбонатов, обусловило, в свою очередь, понижение концентрации растворенного фосфора в морских водах и тем самым вызвало затухание процесса хемогенного фосфоритообразования.

Основными условиями, благоприятными для формирования сорбобиогенных фосфорно-урановых месторождений, являются следующие:

1. Максимальные концентрации костных остатков в зонах перехода мелководных частей бассейна в глубоководные. Эта переходная зона, очевидно, являлась наиболее благоприятной для скоплений рыб и морских животных, так как именно с участками резкого изменения профиля морского дна связан и подъем восходящими течениями глубинных вод, богатых биогенными элементами. Одним из самых важных, жизненно необходимых и в то же время дефицитных элементов является фосфор, содержание в воде которого и определяет обилие в ней планктона, а соответственно и ихтиофауны. В то же время бурный рост планктона, как указывает М. Бронгерсма-Сандерс (1962), сопровождается периодическим цветением воды («красная вода»), что губительно сказывается на всем животном мире морей. Это одна из вероятных причин массовой гибели рыб. Второй причиной, как установили океанологи экспедиционного судна «Витязь», может являться изменение газового режима в близповерхностном слое вод за счет тех же восходящих течений, которые с глубин приносят бескислородные, зачастую даже сероводородные воды.

2. Рудному этапу морской седиментации предшествовала перестройка тектонического плана, сопровождавшаяся размывом отдельных участков дна и образованием эрозионно-тектонических западин. Костные остатки рыб и другие биогенные остатки переносились течениями и заполняли все более или менее значительные углубления морского дна.

3. Тектонические движения продолжались и в период рудоотложения, что приводило к смещению в плане месторождений разного возраста. Наиболее крупные залежи руд образовались в начальные стадии рудного процесса.

4. Формирование залежей ураноносного костного детрита во всех случаях сопровождалось сероводородным заражением иловых и придонных вод и связанным с ним интенсивным образованием сульфидов железа.

5. Источником урана и редких земель, концентрировавшихся в костных остатках рыб, а также серы, железа, молибдена, кобальта и никеля, группировавшихся в сульфидной части рудной массы, по-видимому, являлась морская среда. Сера и сероводород образовались здесь в процессе редукции сульфат-иона за счет окисляющейся органической

массы рыб и планктона. Окисление органического вещества обусловило и восстановление урана до четырехвалентной формы и перевод его в осадок. Накопление урана и сопутствующих ему компонентов в костных остатках происходило длительное время, возможно, еще при жизни рыб и морских животных, особенно интенсивно в стадии диагенеза осадков. Миграция радиоактивных элементов в литифицированном осадке протекала и в стадию эпигенеза, так как во всех залежах установлено смещение радиоактивного равновесия в сторону урана (коэффициент равновесия изменяется от 75 до 88). Указанный факт исследователи объясняют миграцией ионов радия в поровых водах из рудных пластов во вмещающие глины, где действительно наблюдается избыток радия.

*Основные поисковые критерии.* Изложенное выше позволяет наметить основные критерии для поисков сорбобиогенных фосфорно-урановых (органогенно-фосфатных) месторождений. Приуроченность месторождений к определенному стратиграфическому комплексу кайнозойского возраста является важным стратиграфическим критерием контроля оруденения. Основной палеогеографический критерий — размещение месторождений в области шельфа, в зоне перехода от малых глубин (внутренняя прибрежная часть шельфа) к большим глубинам (внешняя часть шельфа).

Структурно-тектонический контроль осуществляется по сочетанию следующих структурных элементов: окраины платформы, региональных линейных поднятий вдоль края платформы и сопровождающих их прогибов, поперечных осложнений региональных структур II порядка горстами и грабенами, локальных структур («ловушки») в виде западин эрозионно-тектонического происхождения на дне моря.

Структуры более высоких порядков контролируют размещение рудных районов и рудных полей, а локальные структуры — местоположение рудных залежей внутри районов и рудных полей.

Литолого-фациальными особенностями рудовмещающих толщ является широкое распространение глин с костными остатками рыб и незначительной примесью кластического (алевритового и песчаного) материала. Костные остатки в глинах образуют прослойки и пласты. Размер костного детрита в рудоносных породах крупнее, нежели в перекрывающих и подстилающих безрудных породах и, как правило, превышает 0,1 мм. Глины имеют темный цвет за счет обогащения их сульфидами железа и бурым органическим веществом. Текстура глин тонкомикрослонистая, микроштриховатая. Последняя обусловлена присутствием параллельно расположенных тончайших линзочек белесого органического (?) вещества.

Наличие в рудных пластах и рудовмещающих отложениях примеси кластических минералов или известняково-доломитового материала рассматривается как признак, неблагоприятный для высоких концентраций урана. Содержание урана в рудах обратно пропорционально их карбонатности.

Главными геохимическими признаками благоприятных рудовмещающих отложений является повышенное содержание серы (более 1%), окисленных битумов (более 0,05%), а также высокая величина уран-фосфорного коэффициента (более 0,003). Эти литохимические признаки указывают на восстановительные условия среды осадконакопления. Рудные залежи, формирующиеся в наиболее погруженных участках морского дна, характеризуются оптимальной восстановительной обстановкой, так как рудовмещающие глины в этих случаях имеют максимальное содержание серы, окисленных битумов и максимальное значение уран-фосфорного коэффициента. По комплексу литохимических признаков это типичные сероводородные фации.

К числу благоприятных геохимических критериев необходимо также отнести радиоактивность пород, устанавливаемую по данным гамма-каротажа скважин. Так, гамма-поля с двойным фоном радиоактивности определяют границы благоприятных фаций, а поля в 4—5 фонов — уже местоположение вероятных рудных залежей или их ореолов.

### *О крупномасштабных геологических съемках и составлении карт прогноза фосфорно-урановых месторождений*

Перспективные площади для поисков сорбобиогенных фосфорно-урановых (органогенно-фосфатных) месторождений располагаются в пределах краевых частей эпипалеозойских платформ. В большинстве случаев эти районы характеризуются относительно сглаженным равнинным рельефом, мощным чехлом наносов, в том числе лессовых образований, а иногда обводненных песчаников, и почти полным отсутствием естественных обнажений продуктивной толщи, в силу чего возможность проведения прямых радиометрических поисков практически исключена. Почти все известные к настоящему времени месторождения рассматриваемого типа являются «слепыми» и были выявлены бурением.

Масштаб специализированного геологического картирования определяется особенностями геологического строения района работ и размерами рудных полей. М-б 1 : 200 000 вполне удовлетворяет целям выявления рудных районов и полей, а м-б 1 : 50 000 служит для выделения рудных залежей относительно крупных размеров.

В период сбора и анализа известных геологических и общегеофизических данных по району уточняется по косвенным, а если имеются сведения, то и по прямым поисковым признакам площадь съемки, ее геологические особенности, а также определяется масштаб специализированного картирования. Косвенным геологическим признаком перспективного района является существенно глинистый тип разреза с участием в нем пачек глин с рассеянными остатками рыб. Прямым признаком является наличие пластов костного детрита с приуроченными к ним радиоактивными аномалиями.

При наличии благоприятного литолого-фациального состава отложений основное внимание необходимо сосредоточивать на более детальном его изучении в зонах перехода от поднятий к депрессиям и в депрессиях. Предварительное изучение геофизических материалов (гравиразведка, сейсморазведка) может дать представление о современном тектоническом плане, а также о характере разреза, степени его песчаности (электрокаротаж) и насыщенности остатками рыб (гамма-каротаж). Желательно в этот период построение предварительных карт мощностей, глубин залегания, радиоактивности продуктивной толщи, а также литолого-фациальных профилей. Одновременно выясняются и учитываются данные по нефтегазосности и обводненности разреза. Этот этап обычно завершается составлением карты в м-бе 1 : 1 000 000 или 1 : 500 000, захватывающей более широкую площадь.

В газонефтеносных провинциях хорошую основу для поисков сорбобиогенных фосфорно-урановых месторождений создают гравиметрические и сейсмометрические карты. Анализ этих карт, при условии унаследованности структур, позволяет в ряде случаев установить структурный план района к моменту накопления продуктивной толщи.

Выполнение полевых работ сопряжено с бурением структурных и картировочных скважин. В первую очередь бурятся опорные структурные скважины (если не могут быть использованы скважины, пройденные при поиске нефти). Этими скважинами выявляются благоприятные фации и устанавливаются перспективные интервалы разреза. Желатель-

ная глубина бурения подобных скважин—хотя бы до верхнего отражающего горизонта сейсмической разведки. Места заложения скважин выбирают по данным сейсмических карт. При этом учитывается необходимость изучения разреза в разных по условиям осадконакопления участках планшета (палеоподнятия, прогибы и т. д.). Обработка керн этих скважин проводится по общепринятой схеме с обязательным его прослушиванием радиометрами. Данные по структурным и картировочным скважинам дают основные материалы для дальнейших палеогеографических реконструкций и прогнозов.

В процессе документации керна отражаются: цвет, текстура, карбонатность, алевритистость, неорганические включения, органические остатки и другие особенности породы. Важно также отметить, какой керн документировался — сухой или влажный. При описании остатков рыб необходимо подразделять чешую и кости, указывая цвет, размер и количество последних (единичные, частые, в виде скоплений). Обязательно установление количества бурой органики, так как ее концентрация наблюдается во вмещающих породах рудных залежей и их ореолах. После документации керна сообразно наметившемуся литологическому разрезу производится литохимическое опробование вмещающих пород точечно-бороздовым методом. Поскольку единственным носителем урана являются остатки рыб, то и гамма-каротажная кривая объективно отражает изменение их содержания по разрезу. Другие виды каротажа играют вспомогательную роль. В частности, стандартный электрокаротаж нужен для установления степени песчанистости и обводненности перекрывающих и вмещающих пород.

Количество картировочных скважин колеблется ориентировочно от 10 до 30 на планшет м-ба 1 : 200 000 и зависит от сложности геологического строения и степени изученности района. Глубина этих скважин определяется необходимостью полного вскрытия продуктивной толщи. Их размещение на планшете должно преследовать цель изучения продуктивной толщи в деталях, необходимых для выделения наиболее оптимальных для рудонакопления участков. Позиции последних, как было указано выше, определяются уточнением деталей структурного плана в дорудный период, наличием внутрiformационных перерывов и размытое, необходимостью выделения участков с благоприятными геохимическими условиями, обильным накоплением костных остатков, мельниковита и т. д. Картировочное бурение в указанном объеме позволяет выделить в составе продуктивной толщи рудные горизонты и определить наиболее благоприятные участки для локализации в них оруденения.

Создание полевых радиометрических, литолого-фациальных и структурных карт в основном базируется на данных гамма-каротажа и тщательно отстроенных литолого-фациальных профилей. Последние необходимо обязательно делать в поле, когда есть возможность проверки и решения спорных вопросов на основе повторного просмотра керна. От точности и правильности увязки горизонтов и отдельных пластов на литолого-фациальных профилях зависит достоверность всех последующих построений и прогнозов.

Поверхность и отложения, перекрывающие продуктивные толщи, изучаются в плане общепринятых требований, но с обязательным выяснением горно-технических условий (газоносность, нефтеносность, обводненность и т. д.).

На прилагаемой прогнозно-металлогенической карте (рис. 4) ориентировочно показано расположение скважин, позволяющих выделить перспективный для детальных поисков участок. Последний, как это видно на рис. 4, определялся не только исходя из благоприятных геологических критериев, но и с учетом горно-технических условий продуктивных толщ, вмещающих рудные залежи. В частности, учтены благоприят-

ные глубины залегания рудных залежей (до 500 м), отсутствие загазованных участков и сильно обводненных площадей в вышезалегающих горизонтах и т. д.

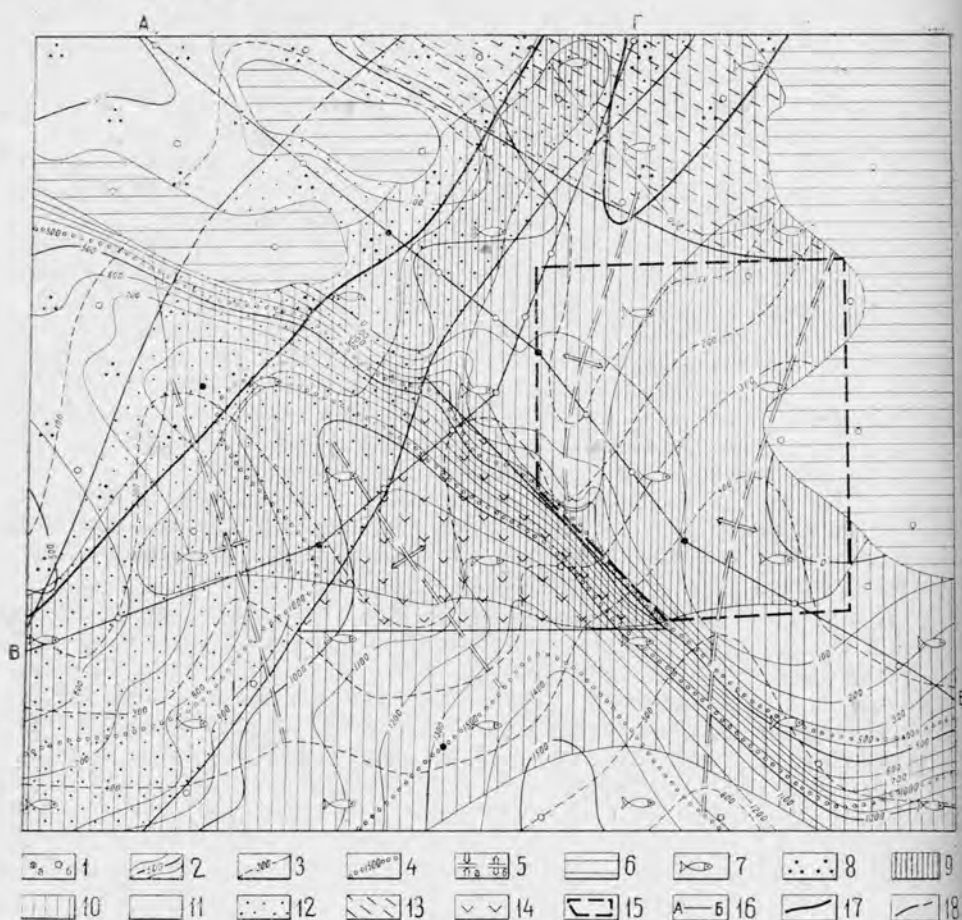


Рис. 4. Карта размещения ураноносных формаций, перспективных для поисков сорбиогенных фосфорно-урановых (органогенно-фосфатных) месторождений.

1 — скважины, пробуренные в процессе специализированного геологического картирования; а — структурные, б — картировочные; 2 — изогипсы подошвы продуктивной толщи, проведены через 100 м (современный структурный план); 3 — изопакиты продуктивной толщи проведены через 700 м (палеоструктурный план); 4 — изолинии равных глубины залегания подошвы продуктивной толщи; 5 — оси палеоструктур; а — прогибов, благоприятных для формирования месторождений промышленных руд, б — поднятий; 6 — площади, где отложения продуктивной толщи отсутствуют (размыты, выклинивание и т. д.); 7—8 — литологические фации: 7 — благоприятные для образования рудных залежей (глины с частыми костными остатками рыб с высоким содержанием сульфидов железа), 8 — неблагоприятные для образования рудных залежей (глины алевроитовые с редкими костными остатками и низким содержанием сульфидов железа); 9—11 — геохимические фации: 9 — благоприятные для формирования рудных залежей (радиоактивность свыше 45 мкр/час), 10 — малоблагоприятные для формирования рудных залежей (радиоактивность от 20 до 45 мкр/час), 11 — неблагоприятные для формирования рудных залежей (радиоактивность меньше 20 мкр/час); 12—14 — площади с неблагоприятными горнотехническими условиями: 12 — подстилающие и перекрывающие отложения, нефтегазоносные и обводненные, 13 — перекрывающие отложения обводненные, 14 — с большими глубинами залегания продуктивных отложений (свыше 500 м) в условиях благоприятных литологических и геохимических фаций; 15 — контур площади, перспективной для поисков месторождений по комплексу литологических, геохимических, структурных и горно-технологических условий; 16 — линия геологических разрезов; 17 — границы литологических фаций; 18 — границы площадей с различными неблагоприятными горно-технологическими условиями залегания продуктивных отложений.

При поисково-оценочных работах м-ба 1:25 000—1:10 000, когда выяснены главные особенности стратиграфии и литологических фаций и намечены радиоактивные горизонты в разрезе (рис. 5), большая часть скважин может буриться без керна. В этом случае все построения ведутся по данным гамма-каротажа.

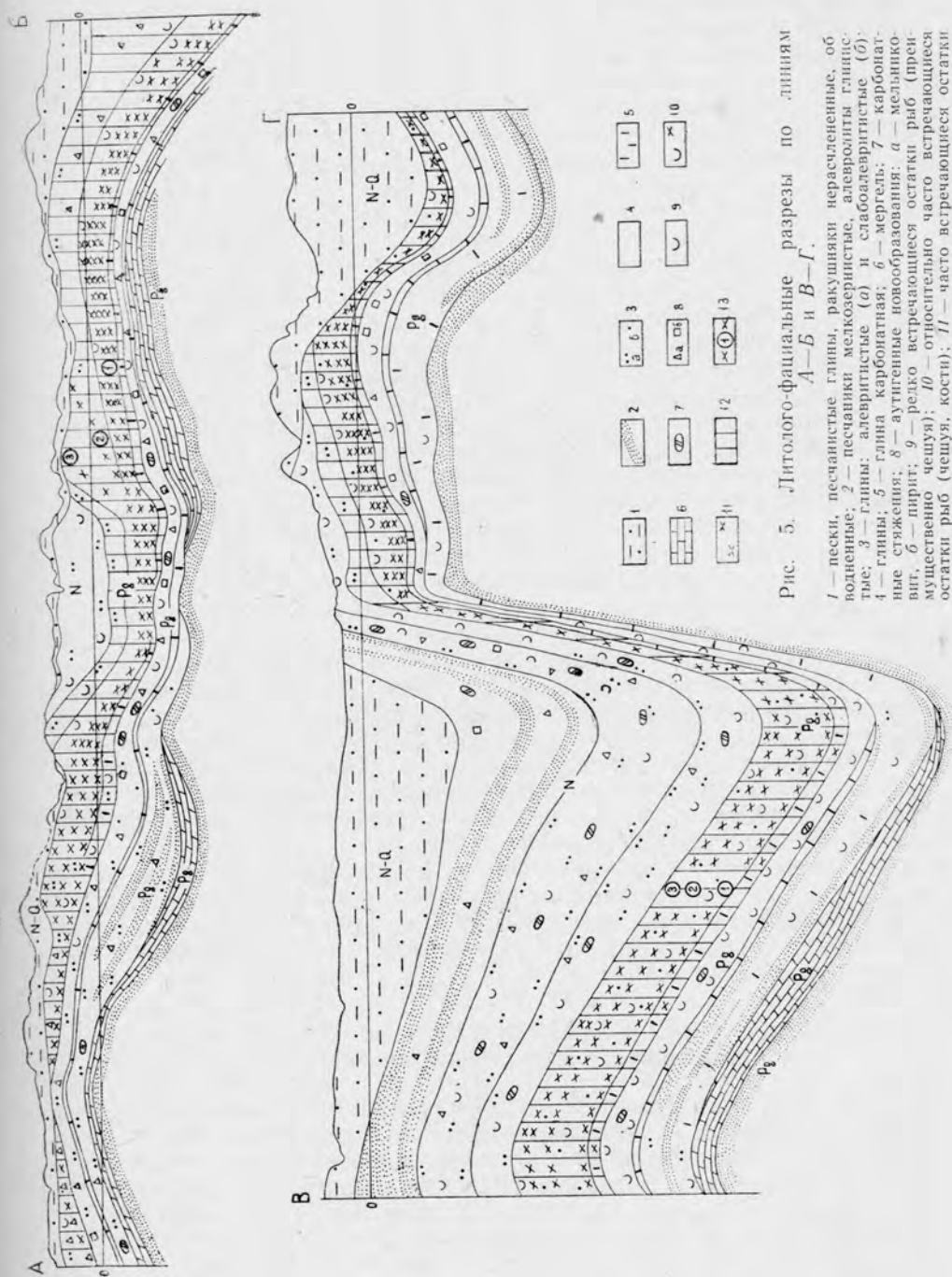


Рис. 5. Литолого-фациальные разрезы по линиям А-Б и В-Г.

1 — пески, песчанистые глины, ракушняка нерасчлененные, обводненные; 2 — песчанки мелкозернистые, алевролиты глинистые; 3 — глины; алевролиты (а) и слабоалевритистые (б); 4 — глины; 5 — глина карбонатная; 6 — мергель; 7 — карбонатные стяжения; 8 — аугитовые новообразования; а — мелководный, б — пирит; 9 — редко встречающиеся остатки рыб (преимущественно чешуя); 10 — относительно часто встречающиеся остатки рыб (чешуя, кости); 11 — часто встречающиеся остатки рыб (преимущественно кости); 12 — продуктивные отложения; 13 — рудные горизонты (1 — нижний, 2 — средний, 3 — верхний).

## УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОСАДОЧНО-ДИАГЕНЕТИЧЕСКОГО И ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ГЕНЕЗИСА В УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Большой материал по ураноносности угленосных формаций дает основание отнести к наиболее перспективным платформенные формации межгорных и предгорных прогибов, сложенные осадками аллювиальных и торфяно-болотных фаций, к которым приурочены промышленные месторождения урана. Меньшее значение имеют урановые месторождения в платформенных полифациальных формациях, сложенных чередующимися морскими и континентальными осадками. В геосинклинальных угленосных формациях краевых прогибов в настоящее время известны только рудопроявления урана. Наиболее перспективными для дальнейших поисков являются краевые части угленосных бассейнов, характеризующиеся присутствием углей от длиннопламенных до коксовых.

Урановое оруденение в угленосных формациях формировалось, очевидно, на различных стадиях образования рудовмещающих отложений: от стадии торфонакопления (седиментационно-диагенетические процессы), через стадию катагенеза (инфильтрационные процессы), до современных эрозионных процессов (выветривание). К сожалению, роль указанных процессов в формировании конкретных рудных объектов далеко не всегда ясна, и многие исследователи трактуют генезис одного и того же урано-угольного месторождения по-разному. В частности, следует иметь в виду, что месторождение, приведенное ниже как пример осадочно-диагенетического, рассматривается некоторыми исследователями как инфильтрационное. Наиболее общепринятым является подразделение урановых месторождений в угленосных формациях на осадочно-диагенетические и инфильтрационные месторождения.

Для формирования осадочно-диагенетических месторождений урана на платформах важное значение имеет не только седиментационный, но и предшествующий ему доседиментационный этап геологического развития бассейна (месторождения). Для возникновения инфильтрационных месторождений, сформированных зонами пластового окисления, главнейшее значение имеют постинверсионный и более молодой орогенный этапы формирования района. Однако и для этих месторождений существенное значение имеют также некоторые особенности седиментационного периода, определяющие тип и литолого-фациальную характеристику рудовмещающей угленосной формации.

История геологического развития бассейна (месторождения) от этапа, предшествовавшего формированию угленосной формации, до постинверсионного этапа включительно и определяет, по существу, поисковые признаки того или иного генетического типа урановых месторождений в угленосных осадках.

### *Урановые месторождения осадочно-диагенетического генезиса в угленосных отложениях*

Осадочно-диагенетические месторождения урана характеризуются приуроченностью к угленосным формациям предгорных и межгорных прогибов, нередко залегающим на коре выветривания гранитов и древних осадочных толщ. В разрезе угленосных формаций преобладающее значение имеют осадки аллювиальных и торфяно-болотных фаций. Для одного из таких месторождений характерна четко выраженная ритмичная смена пород по вертикали от конгломератов или гравелитов через песчаники, имеющие различную зернистость и сортировку материала, к глинистым породам почвы пласта угля или к углистым породам угольного горизонта. Выше по разрезу непосредственно на аргиллитах (или на глинах) кровли пласта угля, а иногда (в результате внутриформационного размыва) и непосредственно на последнем залегают грубозер-

нистые породы вышележащего ритма. Такая смена пород в разрезе формации повторяется неоднократно, при этом наибольшую мощность имеют пласты песчаников и наименьшую — пласты тонкозернистых пород. В случае присутствия мощных пластов угля пачки тонкозернистых пород иногда также имеют значительную мощность. Контакт тонкозернистых пород с перекрывающими их песчаниками или гравелитами резкий и волнистый; с подстилающими породами он обычно нечеткий, вследствие постепенной смены гранулометрического состава осадков. Маркирующими горизонтами являются пласты угля или горизонты грубозернистых пород. Для всей толщи характерны слабая литификация пород, асимметричность строения ритмов, многочисленные внутрiformационные размывы. На отдельных участках наблюдается полный (эпигенетический) размыв пластов угля и замещение его грубозернистым материалом (врезанные русла). Цвет пород серый и темно-серый, присутствуют многочисленные отпечатки и обугленные остатки растений, встречаются сульфиды железа.

Ураноносные угли — бурые, гумусовые, для них характерно накопление органической массы в проточных торфяных болотах.

В составе угленосных формаций подчиненное значение имеют тонкозернистые осадки озерных фаций. Мощность угленосных формаций относительно небольшая (сотни метров).

В строении областей сноса принимают участие древние метаморфические толщи, крупные интрузии гранитов и коры их выветривания.

Для постседиментационного этапа характерны довольно длительный континентальный перерыв, последующее отложение перекрывающей мощной песчано-конгломератовой толщи, интенсивная складчатость всего комплекса осадков, осложненная надвигами, и достаточно интенсивная эрозия, обусловившая раскрытость структур.

Окисление углей вдоль выхода угольных пластов на поверхность или под наносы распространилось на глубину по падению до 150 м, при этом наиболее резкое уменьшение содержания углерода наблюдалось в интервале 30—60 м, содержание гуминовых кислот возрастает иногда почти в 22 раза.

Содержание углерода в углях одного петрографического типа за пределами зоны окисления практически постоянно даже в случае значительных концентраций урана. Наблюдающееся иногда некоторое уменьшение содержания углерода в ураноносных углях верхних пачек пласта обусловлено аэрацией органического вещества при формировании песчаной кровли и не связано с концентрацией в них урана, так как присутствие радиоактивных минералов не уменьшает, а наоборот, резко увеличивает степень углефикации.

Для рассматриваемого типа урановых месторождений, наряду с поисковыми признаками, вытекающими из характеристик угленосной формации, важнейшее поисковое значение имеют особенности распределения в ней урановой минерализации, резко отличные от таковых в месторождениях инфильтрационного типа. Так, на одном из месторождений все или почти все запасы урана в углях и песчаниках сосредоточены стратиграфически в нижних горизонтах угленосной формации. В углях и песчаниках верхней части разреза они отсутствуют или крайне ограничены. Весьма характерно отсутствие структурного контроля оруденения. Рудные залежи имеют малую ширину по простиранию структур и большую протяженность вкост простирания или в диагональном направлении, прослеживаясь в серии сопряженных антиклиналей и синклиналей; надвиги имеют пострудный возраст. Связь рудных залежей с зонами генетического выклинивания пластов угля, а также с участками их полного (эпигенетического) размыва отсутствует.

На многих месторождениях наблюдается повышенная зольность оруденелых углей за счет значительного содержания в них терриген-

ного материала. В угольных пластах одних и тех же стратиграфических горизонтов присутствуют рудные залежи, разделенные по простиранию большими участками безрудных и менее зольных углей без каких-либо признаков окисления. Уран распределяется зонально в поперечном сечении залежи с максимумом концентрации обычно в центральной ее части, что отражает первичное размещение урана в пласте угля (первичная зональность). Вторичная зональность, проявляющаяся в приповерхностной части залежи, обуславливает присутствие зон выщелачивания и вторичного обогащения (цементации); ширина зоны выщелачивания непостоянна и зависит от соотношения между интенсивностью процессов окисления угольно-урановой залежи в эрозионной деятельности.

Оруденение многоярусное. Оно проявляется как в серии пластов угля, так и в приурловых песчаниках. Рудные залежи в пластах угля имеют относительно простую конфигурацию в плане и более сложную в вертикальном сечении. Урановое оруденение занимает в пласте угля различное положение; часто оно распространяется на всю мощность пласта, что обычно наблюдается в зоне выветривания (окисления) углей. При наличии песчаной кровли пласта угля, образовавшейся при эпигенетическом размыве глинистой кровли, на отдельных месторождениях создается дополнительное (эпигенетическое) обогащение ураном верхней части залежи, при этом концентрация урана не зависит от петрографического состава углей.

Первичные руды в угольно-урановых залежах содержат главным образом гуматы уранила и в меньшей степени минералы четырехвалентного урана. В зоне окисления присутствуют следующие вторичные минералы: циппент, тюамунит, ураноспинит, урановая слюдка из группы фосфатов, шарпит и окислы урана; изредка встречаются шрекингерит и радийсодержащие сфалерит и вульфенит. Наибольшее количество окислов урана (до 60% от общего содержания урана в углях) наблюдалось на расстоянии 10—15 м от выхода залежи под наносы, достаточно высокие содержания окислов наблюдаются в зоне окисления до глубины 100 м по падению.

Элементами-спутниками урана в рудах являются: никель, кобальт, молибден, ванадий, свинец, цинк, олово, германий, бериллий, лантан, иттрий. Коэффициент концентрации иногда достигает для ванадия 22 и молибдена 86. Корреляционная связь урана наблюдается с никелем, кобальтом, ванадием и менее отчетливо выражена с молибденом, свинцом и цинком.

Урановая минерализация в песчаниках приурочена обычно к осадкам приурловых фаций. Основная масса породы на одном из месторождений представлена зернами песка мелкого и среднего размера; в резко подчиненном количестве встречаются гравий и гальки, причем наибольшее содержание более грубого материала приурочено обычно к почве пластов. В породе содержатся обугленные растительные остатки, местами в значительных количествах. В составе тяжелой фракции, кроме пирита, встречаются: турмалин, рутил, роговая обманка, сфен, барит, гранат, брукит, лейкоксен, эпидот и флюорит.

В глинистом цементе изученных рудных песчаников содержатся: магний, железо, хром, цирконий, стронций, барий (от 0,01 до 0,10%), марганец, ванадий, свинец, бериллий (от 0,001 до 0,01%). В единичных образцах установлено содержание фосфора от 1 до 10%.

Рудные залежи в песчаниках имеют линзовидную форму. В плане они представляют полосы, вытянутые по падению. Распределение урана весьма неравномерное как по площади залежей, так и в их разрезе, причем максимально высокие содержания его приурочены к наиболее неравномернозернистым разностям, залегающим вблизи основания эрозионного ритма. Для них характерно значительное содержание глинистого

вещества, повышенное содержание сульфидов и дисперсного углистого вещества. Минерализация представлена главным образом настуромом и урановыми чернями. В приповерхностной зоне, до 30 м от поверхности, наблюдается интенсивное выщелачивание урана и содержание его обычно составляет здесь первые тысячные доли процента. Иногда ураноносными являются песчаные темно-серые алевролиты с зернами гравия, интенсивно пиритизированные, представляющие собою типичные осадки приречной части поймы.

Как для рассматриваемого месторождения, так и для ряда других осадочно-диагенетических месторождений характерна закономерно проявляющаяся связь концентраций урана с определенной группой пород руслового и пойменного аллювия. В русловом аллювии наиболее благоприятными для осаждения урана являются только осадки прирусловой отмели, охарактеризованные выше, а в пойменном аллювии — осадки как приречной, так и внутренней частей поймы. Для приречной части поймы характерно тонкое переслаивание мелкозернистых глинистых песчаников, глинистых и песчаных алевролитов и песчаных глин серого, темно-серого и иногда темно-бурого цветов. Для внутренней части поймы характерно присутствие песчаных глин, углистых пород и углей. Все породы пойменного аллювия содержат значительное количество обугленных растительных остатков и сульфиды железа.

В случае значительного развития в эрозионном ритме пойменных осадков наибольшие концентрации урана обычно приурочены к средней части ритма, а именно к переходной зоне от руслового к пойменному аллювию. Для рудных песчаников, кроме фациального типа осадка, является характерным глинистый цемент галлуазитового или каолинового состава, присутствие органики угольного ряда и сульфидов железа.

Для формирования осадочно-диагенетических урановых месторождений важнейшее значение имеют доседиментационный и особенно седиментационный этапы истории геологического развития района. Ряд характерных черт создается в постинверсионный этап, когда происходит некоторое перераспределение концентраций урана в залежах, а в ряде случаев и их частичное уничтожение.

Урановые месторождения в платформенных полифациальных формациях внутренних прогибов характеризуются следующими особенностями.

Разрез буроугольных угленосных бассейнов представлен обычно чередованием континентальных и прибрежно-морских отложений. Последние представлены глинами и песчаниками. Продуктивные слои аллювиального и озерно-болотного происхождения залегают в пределах небольших депрессий и углублений в кристаллическом фундаменте. В разрезе преобладают углистые пески, углистые и небольшие линзы бурых углей. Мощность аллювиальных отложений с урановым оруденением на одном из месторождений составляет 25—30 м.

Рудные залежи расположены в основном в углисто-глинистых песках и значительно реже в углистых глинах и углях. Рудные залежи приурочены к долинам палеорусел на участках расширения пойм, т. е. в местах наибольшего заболачивания. Рудовмещающие слои обычно перекрываются водонепроницаемыми глинами. Уран в рудах сорбирован глинистым и углистым веществом. Урановые черни и пирит присутствуют в незначительном количестве.

Хотя месторождения данного типа и относятся многими исследователями к осадочно-диагенетическому типу, нельзя исключать и возможности их формирования в результате инфильтрационных процессов после отложения пачки глин.

При организации *крупномасштабных специализированных геологических съемок* в ураноносных или перспективных по урану районах необходимо иметь в виду, что в настоящее время подавляющее большин-

ство угольных бассейнов и месторождений имеют крупномасштабные геологические карты поверхности и погоризонтные карты для эксплуатируемых угольных месторождений; исключение представляют лишь бассейны и месторождения, удаленные от железных дорог или находящиеся в труднодоступных высокогорных районах и не представляющие вследствие этого интереса для угледобывающей промышленности. Поэтому первый этап оценки перспектив ураноносности угленосных бассейнов сводится к тщательному анализу нередко весьма обширного геологического материала, обобщению радиометрических материалов массовых поисков и промеру радиометрами подземных выработок, доступных для изучения. Выделяются наиболее перспективные в фациальном отношении горизонты в разрезе угленосной толщи и учитываются все гамма-аномалии (включая двух- трехкратное превышение натурального фона). Этим методом уже на первом этапе оценки можно выделить перспективные площади по ряду косвенных или прямых признаков.

В случае отсутствия материалов по угленосному бассейну в первую очередь необходимо составить геологическую карту в м-бе 1 : 50 000. Карта должна в деталях отразить тектонические структуры и сопровождаться серией литолого-геологических разрезов. Особое внимание должно быть уделено выяснению фаз складчатости и их характеристике.

Дополнительно необходимо составление следующих карт в том же масштабе: 1) палеогеологической, характеризующей расположение областей сноса, состав слагающих их пород и кор выветривания; 2) литолого-фациальной, отражающей условия образования пород, а также вторичные изменения, происшедшие в процессе окисления. В неокисленных породах выделяются разности пород, обогащенные органическим веществом угольного и нефтяного рядов и сульфидами; на карту наносятся пласты угля и данные о глубине распространения зон поверхностного окисления, указываются направления сноса обломочного материала.

Прогнозные карты для осадочно-диагенетических месторождений базируются на литолого-фациальных картах; на них выделяются наиболее благоприятные зоны для концентрации урана (с учетом типа угленосных формаций). Для угольных пластов наносятся радиометрические данные поверхности, а также данные по первичной и вторичной зональности. Выделяются площади с повышенной зольностью, обусловленной терригенным материалом, и указывается предполагаемое направление движения поверхностных палеопотоков, приносивших в область седиментации воднорастворимые соединения урана. На основе анализа всех данных выделяются перспективные площади для постановки поисковых работ.

Для составления перечисленных карт должны быть запроектированы необходимые объемы колонкового структурно-поискового бурения и легких горных выработок, проводимых при детальной геологической съемке, а также объемы бурения, необходимые для выяснения наличия уранового оруденения ниже зоны поверхностного окисления.

Расстояния между скважинами на профилях должны определяться степенью развития процессов поверхностного окисления и условиями залегания пород. На первом этапе профили располагаются вкрест простирания пород с интервалом между профилями 4—6 км. На данном этапе необходимо пересечь всю угленосную толщу с целью выявления перспективного рудоносного горизонта. В случае установления повышенной гамма-активности проводится как сгущение профилей поисковых скважин по простиранию (до 2—3 км), так и скважин по профилю. Учитывая незначительную ширину залежей и возможное их диагональное направление, в районе рудных скважин проводится сгущение сети их на профиле до 100—200 м.

## Инфильтрационные урановые месторождения

Одно из типичных месторождений этого типа, изученное А. А. Ковалевым, также подчинено платформенной угленосной формации межгорного прогиба, сложенной ритмично чередующимися неметаморфизованными отложениями аллювиальных и торфяно-болотных фаций, содержащих бурые угли (Батулин и др., 1965). Отличием от ранее рассмотренной формации является участие в строении средней части аллювиальных ритмов мощных пачек тонкозернистых пород, подстилающих пласты угля, и согласное залегание угленосной толщи на более древних, но также достаточно рыхлых породах небольшой мощности (содержащих угольный детрит и шлам), которые после континентального перерыва залегают на эффузивных породах. Угленосная формация несогласно перекрывается мощной осадочной толщей, нижние горизонты которой сложены проницаемыми породами. Залегание всего комплекса осадочных пород пологое.

Область сноса сложена эффузивными и вулканогенно-осадочными породами, прорванными интрузиями и дайками различного состава. Имело место развитие кор выветривания. На месторождении установлены воды гидрокарбонатно-кальциевого и сульфатно-натриевого состава; содержание урана в водах колеблется от  $n \cdot 10^{-6}$  до  $5,1 \cdot 10^{-5}$  г/л. По имеющимся данным, урановое оруденение контролируется границами зон пластового окисления, которые развиваются главным образом в песчаниках.

Намечается структурный контроль оруденения на основе закономерного положения рудных залежей вдоль границы межгорного прогиба, причем длинные оси залежей ориентированы по простиранию складчатых структур. Урановое оруденение многоярусное и развивается в углях и песчаниках. Наиболее крупные залежи локализируются в кровле мощных угольных пластов, на контакте с пластовоокисленными песчаниками. Зоны пластового окисления развиваются в терригенных отложениях на значительном расстоянии от зоны поверхностного окисления. Последняя прослеживается до глубины 90—100 м по вертикали и на 1—1,5 км по падению пластов. Породы угленосной пачки в зоне поверхностного окисления окрашены в серовато-желтый и серовато-бурый цвет. Органическое вещество полностью минерализовано.

В зоне пластового окисления песчаники, гравелиты и конгломераты имеют желто-бурый цвет за счет присутствия гидроокислов железа, сульфиды железа и органический углерод отсутствуют, характерны низкие значения окислительно-восстановительной емкости (Еh). Интенсивное окисление углей (до сажи) наблюдается только в приповерхностной зоне вдоль выхода угольных пластов под покровные отложения, что способствовало резкому уменьшению мощности пластов угля в этих участках.

На выклинивании зон пластового окисления наряду с гидроокислами железа в песчаниках отмечаются сульфиды железа, карбонаты и новообразования криптокристаллического кремнезема.

Зона пластового окисления окаймляется зоной уранового оруденения. Породы зоны окрашены в серый и голубовато-серый цвет. В цементе рудных песчаников преобладают настуран и коффинит, которые находятся в тесной ассоциации с сульфидами железа, карбонатами и органическим веществом.

В плане рудные залежи в песчаниках представлены узкими извилистыми полосами; в вертикальном сечении они, по-видимому, имеют форму роллов. Характерна приуроченность таких участков песчаников к зоне перехода от русловых осадков к пойменным.

Небольшие площади и более правильную пластообразную форму имеют рудные залежи в углях. Характерно присутствие промышленных

содержаний урана в зоне приповерхностного окисления углей. За ее пределами, на площади распространения неокисленных углей, уран присутствует только в том случае, если кровлей пласта являются окисленные породы. При этом пачка угля непосредственно под кровлей является также окисленной и безрудной и только ниже ее размещается наиболее обогащенная ураном часть пласта угля. Ниже по стратиграфическому разрезу пласта концентрации урана быстро уменьшаются до кларковых значений. Ураноносные угли характеризуются повышенной зольностью (на 14—18%), по сравнению с безрудными, но уже за счет присутствия эпигенетических карбонатов и пирита, а не терригенного материала, как это имеет место в рудных залежах осадочно-диагенетического типа.

Урановая минерализация в углях представлена настураном, гидронастураном, урановыми чернями и дисперсной, минералогически не диагностируемой формой (по-видимому, гуматом уранила) и коффинитом. В песчаниках минерализация представлена урановыми чернями и коффинитом. Элементами-спутниками являются селен, молибден, ванадий, германий и свинец.

За зоной уранового оруденения располагается ореол рассеяния, где отмечаются непромышленные концентрации урана, сульфиды железа и карбонаты, содержание которых постепенно убывает в направлении к неокисленным породам.

Инфильтрационное урановое оруденение начало формироваться до отложения перекрывающей красноцветной толщи и продолжало формироваться длительное время, причем в формировании рудных тел в углях играли роль не только напорные пластовые, но и грунтовые фильтрующие воды.

Из приведенной характеристики угленосной формации и особенностей распределения в ней урановой минерализации отчетливо видно важное значение для формирования инфильтрационных урановых месторождений седиментационного и более поздних этапов истории геологического развития района, включая постинверсионный этап.

Проведение *крупномасштабного специализированного картирования* площадей, где можно предполагать наличие урано-угольных месторождений, на которых широко проявлены признаки эпигенетических рудообразующих процессов, необходимо начинать с анализа имеющихся материалов по угленосным бассейнам, обобщения радиометрических материалов массовых поисков и осмотра доступных для изучения подземных выработок с целью дополнительных радиометрических промеров. При этом особое внимание должно уделяться фиксации эпигенетических новообразований (пиритизация, карбонатизация, окремнение) и вторичным окраскам пород (лимонитизация). Эти же эпигенетические изменения следует отмечать при просмотре документации имеющихся скважин. Обобщение собранных материалов может позволить уже на первом этапе высказать соображения о возможном наличии инфильтрационного уранового оруденения и наметить по ряду прямых и косвенных признаков перспективные площади. При наличии проницаемых литологических горизонтов в разрезе угленосной пачки, а также эпигенетических изменений пород на участках с благоприятной структурной позицией целесообразно проведение геологического картирования.

При съемке в м-бе 1 : 50 000 необходимо составлять серию карт с целью выяснения наличия рудоформирующих эпигенетических процессов, протекавших как в до, так и в постинверсионную стадию развития района. В дополнение к геологической карте составляется литолого-фациальная карта того же масштаба, на которую наносятся пласты углей, выделяются горизонты проницаемых грубозернистых пород и отражаются все фациальные изменения продуктивной пачки. В комплекс карт входят также радиогидрохимическая карта при едином водоносном горизонте или серия карт в случае изолированных горизонтов.

На завершающем этапе строятся погоризонтные карты эпигенетических изменений пород (погоризонтные прогнозные карты), которые являются основой для планирования поисковых работ. На эти карты наносятся границы поверхностного и пластового окисления, а также эпигенетические изменения продуктивных рудовмещающих горизонтов. Как правило, эти карты строятся на основе литолого-фациальных карт, причем на них наносятся результаты гамма-съемки и каротажа, а также радиогеологические аномалии и рудопроявления урана.

Карта прогноза для всего продуктивного разреза составляется по данным серии карт эпигенетической зональности. Основой для них служат литолого-фациальные карты, отражающие, как и в случае осадочно-диагенетических месторождений, главным образом особенности грубозернистых пород рудовмещающего макроритма.

На прогнозной карте показываются установленные выходы на поверхность пластов угля и зон пластового окисления в грубозернистых породах, а также наметившиеся границы перехода окисленных пород в сероцветные с учетом особенностей структуры выделяемой перспективной площади.

При наличии в разрезе серии сближенных зон на картах отражаются площади суммарного развития зон пластового окисления. При этом наносятся выходы на поверхность только нижней и верхней зон и для каждой из них — границы перехода окисленных пород в сероцветные.

В угольных пластах отмечается граница зоны поверхностного окисления углей, а в случае залегания в их кровле окисленных пород — указывается нижняя граница зоны окисления в породах кровли в качестве возможной нижней границы залежи в неокисленных углях верхней части угольного пласта.

При документации керна особое внимание должно уделяться характеристике эпигенетических изменений пород и минеральным новообразованиям (карбонатизация, окремнение, сульфидная минерализация и др.), а также формам соединений железа и цветовой характеристике пород.

Для составления перечисленных карт, выяснения положения области выклинивания зоны пластового окисления в песчаниках и углях и глубины зоны поверхностного окисления в углях должны быть запроектированы необходимые объемы колонкового структурно-поискового бурения, а также легких горных выработок.

Буровые работы проводятся по профилям, ориентированным вкрест простирания пород. Расстояния между профилями, несмотря на значительную протяженность рудоносной полосы, все же не должны превышать на первом этапе буровых работ 6—8 км; расстояния между скважинами на профиле определяются условиями залегания пород и глубиной развития процессов поверхностного окисления. В случае установления зоны пластового окисления проводится сгущение скважин на профиле, в области предполагаемого ее выклинивания, с целью подсечения оруденения. Учитывая возможность многоярусного расположения инфильтрационного оруденения, часть буровых скважин должна пересекать все проницаемые горизонты угленосной пачки. Выявленное урановое оруденение детализируется путем сгущения буровых профилей по простиранию наметившейся границы выклинивания зоны пластового окисления. Строгая приуроченность уранового оруденения к областям выклинивания зон пластового окисления, которые четко отбиваются желтыми окрасками пород в кернах буровых скважин, позволяет проводить предварительную оценку масштабов выявленного оруденения буровыми работами сравнительно небольшого объема.

## УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ И ЗОН ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ

### ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ БИТУМНО-УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В КРАСНОЦВЕТНЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Под битумно-урановыми месторождениями понимаются в литературе такие месторождения, в которых основные концентрации урана в рудах связаны с твердыми нерастворимыми в органических растворителях битумами. Как самостоятельный тип битумно-урановые месторождения были выделены Р. Расселом в 1958 г. и включены в группу урановых месторождений на нефтегазоносных структурах. Руды битумно-урановых месторождений имеют большое практическое значение.

#### *Закономерности регионального размещения битумно-урановых месторождений*

Рассматриваемые месторождения урана размещены, как правило, в ураноносных районах, где, кроме битумно-урановых, встречаются месторождения и рудопроявления урана других типов, а также отмечается повышенная ураноносность отдельных комплексов пород и подземных вод. Так, один из регионов, в котором встречаются битумно-урановые месторождения, является в целом ураноносным районом с гидротермальными месторождениями в древних кристаллических породах и инфильтрационными месторождениями в отложениях различного состава.

В США имеется несколько ураноносных районов с широко распространенными ураносодержащими формациями и месторождениями урана различных типов. Скалистые горы являются одним из важнейших ураноносных районов Тихоокеанского рудного пояса. В этом районе, помимо имеющих многих мелких жильных месторождений урана, развиты интрузивные породы с повышенным содержанием урана развиты интрузивные породы с повышенным содержанием урана, широко распространены осадочно-вулканогенный комплекс нижнего докембрия, мезозойско-кайнозойские вулканогенные образования и ураноносные черные и фосфатизированные сланцы карбона и перми. Кроме того, ураноносный район Скалистых гор отличается повышенными содержаниями урана в подземных водах. Так, на плато Колорадо известно несколько крупных битумно-урановых месторождений.

Битумно-урановые месторождения, связанные с нефтегазоносными структурами, размещены в краевых мобильных частях древних платформ, которые были обновлены тектоническими движениями. Например, ураноносные районы плато Колорадо, Вайоминга и Мидконтинента, где расположены урановые месторождения рассматриваемого типа, до периода рудообразования находились в краевых частях древней Северо-Американской платформы, тяготевших к мобильной зоне Кордильер (рис. 6). Ураноносный район плато Колорадо в период, предшествовавший рудообразованию, претерпел длительный устойчивый этап платформенного развития, в условиях которого происходило накопление в основном терригенных, часто красноцветных отложений, которые в последующее время стали рудовмещающими.

В современном структурном плане ураноносные площади размещены в различных геотектонических зонах.

Время возникновения месторождений в каждом районе совпадало, очевидно, с периодом оживления в них тектонической деятельности (превращение в орогенические пояса), а масштабы месторождений зависели от ее интенсивности.

Значение структурной позиции и истории тектонического развития отдельных районов в размещении битумно-урановых месторождений исключительно велико. Анализ истории геологического развития террито-

рии США показывает, что наиболее благоприятные, оптимальные тектонические условия существовали в районе плато Колорадо, которое, находясь на краю Северо-Американской платформы, в ларамийское время было вовлечено в виде устойчивого участка в складкообразование Скалистых гор. При этом отложения плато Колорадо были лишь слабо изогнуты в крупные пологие складки, а рельеф оказался слабо расчлененным. Созданные в ларамийское время на плато структуры

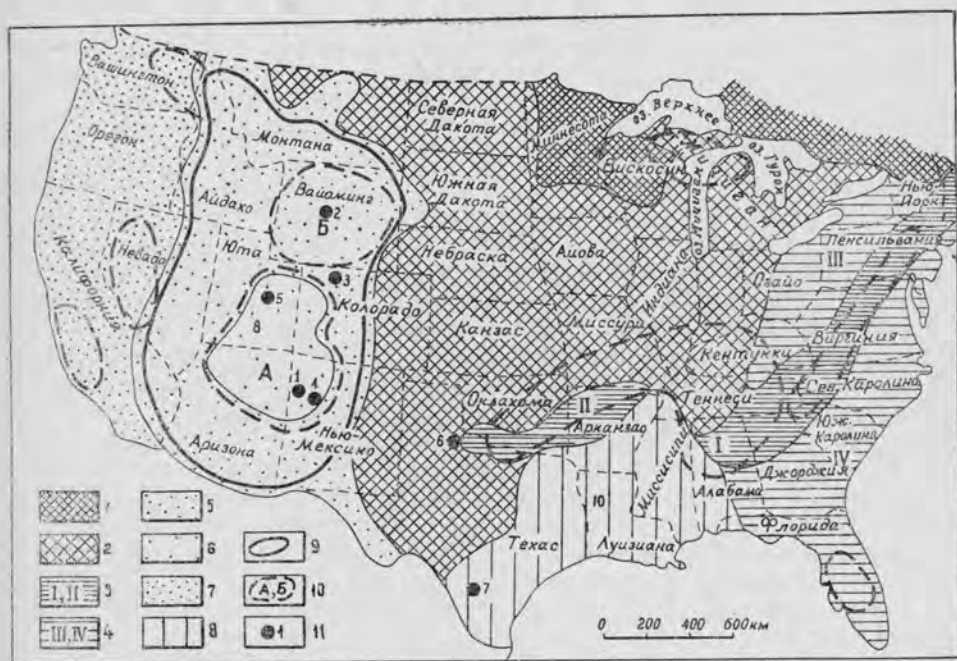


Рис. 6. Геотектоническое районирование территории США. Составлен Е. Н. Антипычевой по данным А. Ирдли, А. Бакирова и др.

Области платформы с докембрийским складчатым основанием: 1 — Канадский щит; 2 — Центральная устойчивая область. Области герцинской складчатости: 3 — Аппалачи (I) и Уачита-Вичита (II); 4 — Предаппалачская впадина (III) и Атлантическая прибрежная равнина (IV). Области мезозойской и кайнозойской складчатости: 5 — Скалистые горы меловой и кайнозойской складчатости; 6 — плато Колорадо; 7 — Тихоокеанский пояс палео-мезо-кайнозойской складчатости; 8 — прибрежная равнина Мексиканского залива с фундаментом не выясненного возраста; 9 — основная ураноносная область — Скалистые горы; 10 — урановые районы, главные из них: А — плато Колорадо, Б — Вайоминг; 11 — битумно-урановые месторождения.

в последующем были мало изменены. Это время в указанном регионе отличалось интенсивным процессом ураноаккумуляции, образованием многочисленных мелких и, на тех же площадях, ряда крупных месторождений урана.

В Вайоминге и других частях Скалистых гор, которые были интенсивно дислоцированы в ларамийское время, а сформированные структуры впоследствии были обновлены в кайнозойскую эру, урановые месторождения немногочисленны и невелики по масштабам. В районе Панхендл тектонические движения затухли в конце пермского периода и в это время, вероятно, сформировались месторождения урана, не имеющие промышленного значения.

Возраст битумно-урановых месторождений определяется, по-видимому, временем последнего этапа тектонических движений в том или ином районе. Ранее образованное оруденение в последующие тектонические фазы, скорее всего, разрушалось или переоткладывалось. Возможно, этим объясняется, что в разных районах Скалистых гор месторождения урана имеют различный возраст. Руды, сложенные ураноносными битумами, преобладают в месторождениях ларамийского и более

древнего возраста и играют подчиненную роль в более молодых постларамийских месторождениях, где существенную роль играют коффицит и окислы урана.

Битумно-урановые месторождения расположены в пределах локальных антиклинальных структур и поднятий, а также соляных куполов в краевых частях артезианских бассейнов. По мнению ряда исследователей указанные локальные структуры, как правило, интенсивно тектонически раздроблены и являются нередко областями разгрузки подземных вод (Евсеева и др. 1967).

Подземные воды ураноносных районов в целом отличаются повышенным содержанием урана. Считается, что одни битумно-урановые месторождения образовались в результате деятельности подземных вод глубокой циркуляции, температура этих вод могла быть повышенной; другие образовались на меньшей глубине в зоне неглубокой циркуляции подземных вод.

Битумно-урановые месторождения находятся в современных или древних водоносных горизонтах. Они приурочены к отложениям с резко изменчивой проницаемостью. Рудные тела размещены в местах переходов с высокой проницаемостью в породы с низкой проницаемостью, в местах переслаивания песчаников с глинами.

На многих месторождениях США рудные тела залегают примерно на одном гипсометрическом уровне, который отвечает, по-видимому, древнему водонефтяному контакту или уровню подземных вод, и часто имеют форму роллов.

В одном из районов, где размещены битумно-урановые месторождения, подземные воды в области питания рудовмещающих водоносных горизонтов являются окислительными, сульфатными и имеют повышенные концентрации урана. Здесь воды рудовмещающих толщ напорные, преимущественно пластово-поровые. Часть месторождений данного района характеризуется восстановительной геохимической обстановкой (сероводородные, безсульфатные воды). В этих водах содержится повышенное количество гелия, радона и наблюдается коррелятивная связь концентраций урана, молибдена, мышьяка и меди. В участках с восстановительной обстановкой происходит преимущественное накопление урана. На других месторождениях района идет процесс разрушения рудных тел. Для вод типична окислительно-восстановительная обстановка с незначительным содержанием сероводорода, следами кислорода, высокой концентрацией урана при аномальном содержании радона, гелия и молибдена.

Характерной закономерностью размещения данного типа месторождений является их приуроченность к красноцветным толщам или отложениям, залегающим среди красноцветных пород, которые в нефтегазовых структурах местами вторично восстановлены и осветлены. Осветленные породы, включающие рудные тела, иногда принимают за первично сероцветные отложения.

Отчетливой связи битумно-урановых месторождений с магматизмом и вулканизмом не установлено. Следы вулканической деятельности относятся к периоду накопления рудовмещающих осадков, когда вулканические процессы имели место или в самих ураноносных районах, или в соседних с ними областях. Продуктом этих процессов являются прослои вулканических пеплов в рудовмещающих отложениях. Пеплы нередко имеют повышенные против кларков концентрации урана. Ряд исследователей считает, что отложения с прослоями вулканического пепла могли быть одним из источников урана при образовании битумно-урановых месторождений. Роль лакколлитов, внедрившихся в олигоцен-плиоценовую эпоху и, возможно, в ларамийское время в рудовмещающие отложения плато Колорадо, в формировании оруденения неясна. Некоторые исследователи предполагают участие постмагматических гидро-

термальных процессов в образовании битумно-урановых руд отдельных месторождений.

Битумно-урановые месторождения тесно связаны с активными восстановителями, какими являются нефть и газ и продукты их изменения. Поэтому такие месторождения урана встречаются в современных или древних нефтегазоносных районах, где имеются следы былого присутствия нефти и газа. В нефтегазоносных бассейнах месторождения нефти и газа расположены в погруженных закрытых структурах краевых частей бассейнов, а битумно-урановые месторождения располагаются еще ближе к периферическим частям бассейнов, где наблюдается раскрытие структур и связанные с этим разрушение и окисление залежей нефти и газа.

Рассматриваемый битумно-урановый тип месторождений встречается в бедных нефтегазоносных провинциях древнего палеозойского нефтегазоаккумуляции и располагается иногда над газовыми или нефтегазовыми залежами в проницаемых отложениях.

Размещение битумно-урановых месторождений находится в прямой зависимости от степени окисленности нефти и газа. Большой окисленностью отличаются нефти на эрозионно открытых или нарушенных разломами структурах, чем в тех же горизонтах в ненарушенных структурах.

В золе нефтей наблюдается обычно очень низкое содержание урана, мышьяка, ванадия, никеля, кобальта, молибдена, хрома, меди, свинца, цинка и олова. Однако нефти обладают избирательной способностью к их концентрации. Содержание урана в нефтях резко повышается по мере увеличения степени их окисленности. В ураноносных асфальтитах оно в несколько сотен тысяч раз больше, чем в нефтях, и достигает нескольких процентов.

Процесс окисления нефтей в нефтегазоносных структурах способствует концентрации урана в нефтях и асфальтитах. Для районов с битумно-урановыми месторождениями характерно наличие обычно тяжелых нефтей с большим удельным весом, высоким содержанием серы и смол. Природные газы таких районов имеют обычно пониженное содержание углеводородов, высокий процент азота, углекислого газа и гелия.

К нефтегазоносным районам приурочены месторождения не только ураноносных битумов, но и гелия, однако месторождения гелия и урана, как правило, разобщены в плане и в разрезе. Иногда вблизи битумно-урановых тел могут быть повышенные содержания гелия в газах и воде. Содержание гелия в природных газах повышается по мере окисления углеводородов, входящих в состав этих газов. Поэтому наибольшей гелиеносностью отличаются древние нефтегазоносные бассейны палеозойского нефтегазоаккумуляции с более окисленными нефтями и природными газами. Следовательно, месторождения гелия и ураноносных битумов имеют в основном пространственную связь, встречаясь в одних и тех же районах с окисленными природными газами и нефтями. Находки высоких содержаний гелия в природных газах могут являться одним из косвенных поисковых признаков ураноносных районов.

### ***Закономерности локального размещения битумно-урановых месторождений***

Месторождения ураноносных битумов тяготеют к крупным поднятиям. В пределах крупных поднятий размещение битумно-урановых месторождений контролируется антиклинальными структурами, локальными поднятиями и соляными диапирами, обычно интенсивно раздробленными разрывными нарушениями. Месторождения ураноносных битумов локализуются на крыльях крупных поднятий в виде прерывистых полос, которые обычно вытягиваются по простиранию этих поднятий.

В ряде районов было выяснено, что урановые месторождения данного типа (при снятой пострудной тектонике) залегают на одном гипсометрическом уровне. Такой характер размещения оруденения, например на поднятии Сан-Рафаэл в США, исследователи объясняют тем, что в прошлом это была поверхность, разделявшая залежь нефти или газа и воду. Вдоль поверхности раздела происходило накопление урана. Для других месторождений, как Джекпайл, Мейбел и Гэс-Хиллс, это объясняется положением древнего уровня подземных вод. Все упомянутые структуры развивались длительно и унаследованно еще с палеозойского времени.

Для всех структур, в которых размещаются битумно-урановые месторождения, характерна эрозионная или тектоническая раскрытость.

В разрывных нарушениях оруденение встречается только в редких случаях. Роль разломов в пределах локальных структур сводилась к тому, что они способствовали миграции нефти и газа в красноцветные породы, где создавались восстановленные участки, благоприятные для локализации оруденения. Контролируя пути миграции нефти и газа, а также движение подземных вод, разломы на некоторых месторождениях определяют размещение на площади пластово-линзовидных рудных тел. Кроме того, на битумно-урановых месторождениях отмечается большое количество пострудных разломов, которые смещают рудные тела. По сбросам и трещинам развивается в таких случаях, как правило, вторичное оруденение.

Большое значение для локализации битумно-урановых месторождений имеет литологический состав рудовмещающих пород и их фациальное строение.

Большая часть битумно-урановых месторождений приурочена к речным песчанникам в местах увеличения их мощности. Значительно реже месторождения формируются в прибрежно-морских и лагунных песчанниках и в битуминозных известняках.

На площади распространения речных отложений оруденение приурочено к зоне переслаивания песчанников с аргиллитами. Рудные тела месторождений обычно расположены в горизонтах песчанников, залегающих между горизонтами глин, аргиллитов или глинистых алевролитов. Внутри песчанников рудные тела локализуются вблизи контактов с глинистыми или аргиллитовыми прослоями. Песчаные горизонты без прослоев глин и аргиллитов обычно безрудны.

Оптимальное содержание глин в рудовмещающем пласте, на участках переслаивания песчанников с глинами, составляет 5—15%, примесь гравия и галек менее 20%, а соотношение песчаной и алевроитовой фракций равно 1 : 1.

На битумно-урановых месторождениях рудные тела всегда залегают среди локально эпигенетически измененных, осветленных, восстановленных пород (рис. 7, 8), что является одним из наиболее характерных поисковых признаков. Эти изменения пород в основном являются дорудными и встречаются не только на битумно-урановых месторождениях. Они вообще характерны для структур с разрушенными или разрушающимися нефтегазоносными залежами. Ниже приводится краткая характеристика эпигенетических изменений, выявленных при изучении одного из битумно-урановых месторождений.

Красная окраска неизмененных пород обусловлена присутствием гидроокислов железа в виде пленок на песчаных зернах и глинистых образованиях. В значительном количестве встречаются тяжелые минералы — магнетит и ильменит. Эти минералы в отдельных районах содержат повышенные количества ванадия, меди, свинца, никеля, хрома, циркония, урана и других элементов. Красноцветные обломочные породы, как правило, имеют глинисто-карбонатный цемент.

В измененных породах наблюдается перераспределение целого ряда элементов. Эти породы каолинизированы, в них отсутствуют гематит, магнетит и ильменит. За счет их разрушения происходило освобождение железа, его перераспределение и местами накопление в форме пирита и реже марказита. Измененные породы на площади и в вертикальном разрезе располагаются в определенной зональной последовательности. Рудные тела залегают в пределах измененных отложений, обычно локализуясь в зоне сероцветных пиритизированных пород. Последние

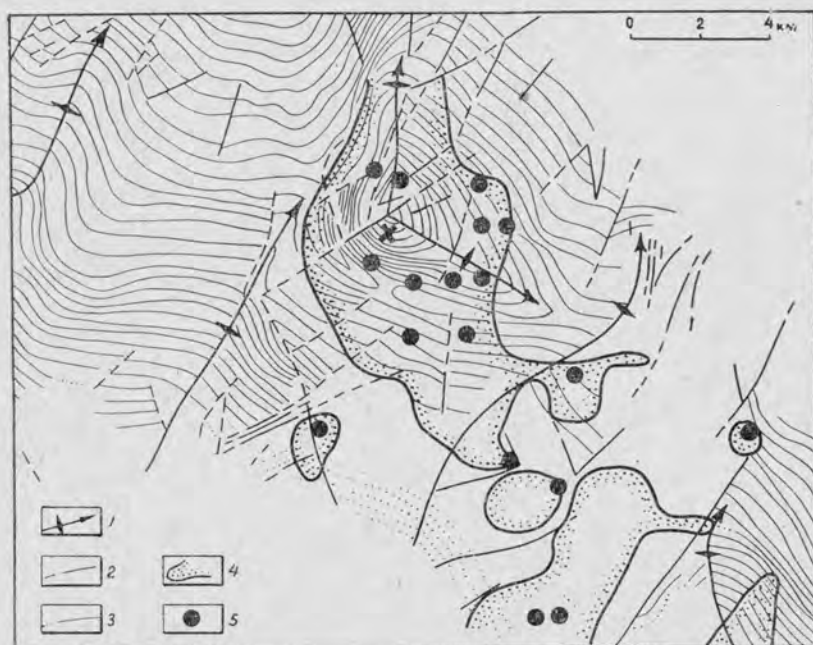


Рис. 7. Структурная карта района Амброзия-Лейк с площадью осветления рудовмещающих красноцветных пород юрской формации Моррисон (по Р. Зиттингу и др., 1958).

1 — оси антиклиналей; 2 — разломы; 3 — стратонизогипсы кровли меловых песчаников Дакота; 4 — площадь обеления; 5 — рудные участки; крестиком помечен купол Амброзия-Лейк.

окружены зоной рыхлых обеленных пород, в которых изредка встречается урановое оруденение. Обеленные породы по периферии сменяются породами зеленоцветной зоны, которые, в свою очередь, постепенно переходят в неизменные красноцветные отложения.

На границе измененных осветленных пород с первично красноцветными наблюдаются переходные по окраске породы: слабо осветленные пятнистые, окрашенные в различные оттенки красного, фиолетового и зеленого цвета. В красновато-фиолетовых породах отмечаются гематитовые пленки вокруг песчаных зерен и частично сохранившиеся магнетит и ильменит.

Рудовмещающие отложения сероцветной зоны тяготеют обычно к сводовым частям структур и характеризуются наиболее интенсивным проявлением эпигенетических процессов. Все породы зоны окрашены тонкораспыленными сульфидами железа в серый цвет; окраска рудных песчаников изменяется до черного в зависимости от количества ураноносного твердого битума. Породы зоны обогащены пиритом и марказитом, но наибольшее их количество отмечается вблизи рудных залежей. Первичный карбонатный цемент в породах белой и серой зон обычно разрушен и вынесен, но в нижней части рудовмещающей свиты наблю-

дается интенсивная вторичная кальцитизация пород. На отдельных участках вблизи рудных залежей измененные породы подверглись окремнению. Здесь же встречаются прослой бирюзового хромсодержащего монтмориллонита, жидкие и твердые безурановые битумы.

Рыхлые породы обеленной зоны сильно обеднены железом, выделяются светлой, почти белой окраской, которая обусловлена развитием каолинита в цементе, а также отсутствием гидроокислов железа. В не-

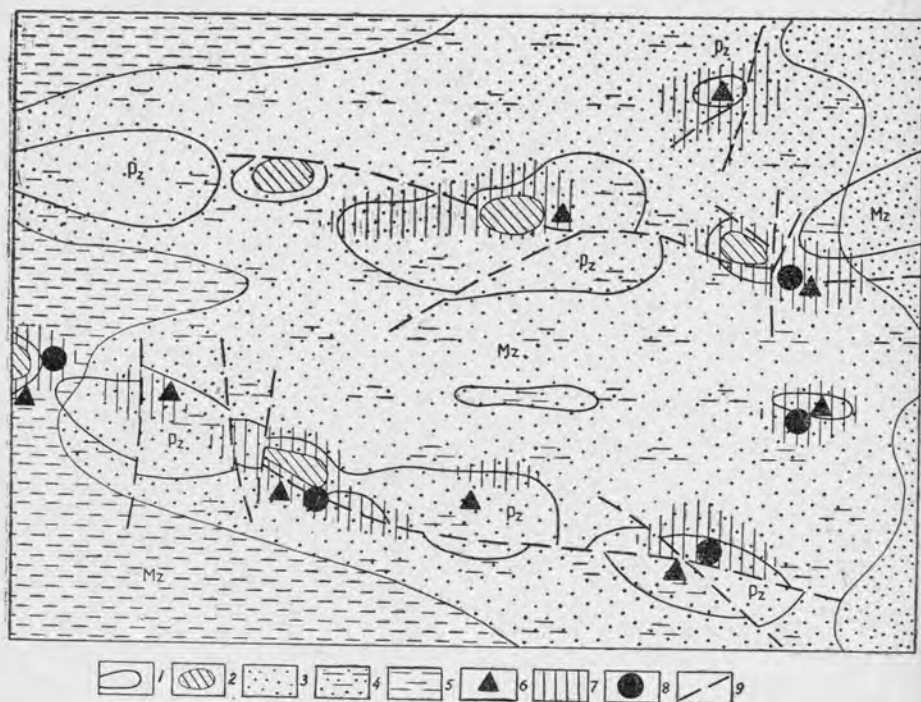


Рис. 8. Геолого-структурная карта района битумно-урановых месторождений со снятым чехлом кайнозойских отложений.

1 — куполовидные структуры; 2 — соляные штоки; 3—5 — красноцветные отложения рудовмещающей свиты палеозоя: 3 — песчаники, 4 — песчаники с прослоями глины, 5 — глины; 6 — проявления нефти и газа в рудовмещающих и нижележащих породах; 7 — участки осветления красноцветных пород; 8 — битумно-урановые месторождения и рудопроявления; 9 — разломы.

большом количестве встречаются сульфиды железа. В зонах тектонических нарушений отмечается киноварь и в карбонатных прожилках — флюорит. Они залегают ниже горизонта уранового оруденения и по возрасту моложе его.

Площадь измененных осветленных пород в несколько раз превышает размер площади оруденелых пород. Следует отметить, что в процессе гипергенного выветривания осветленные и серые породы изменяют окраску на выходах до желтых, красных и оранжевых цветов за счет окисления сульфидов железа.

Битумно-урановые месторождения в нефтегазоносных структурах в плане имеют форму полос или пятен с неправильными контурами. Протяженность таких полос различна и изменяется от первых километров до 11—16 км. Ширина рудных полос обычно составляет первые сотни метров, достигая на крупных месторождениях 1,5—2 км.

Внутри рудных полос оруденение не имеет сплошного развития и распределяется весьма неравномерно. Рудная полоса состоит из ряда рудных тел, разделенных слабо оруденелыми или полностью безрудными

породами. Рудные тела в большинстве случаев имеют неправильную пластово-линзовидную форму, ориентированы по направлению основной рудной полосы и имеют длину до километра, реже более, при ширине первые сотни метров. Мощность рудных тел обычно измеряется первыми единицами метров, редко составляет десятки метров.

В разрезе оруденение обычно многоярусное. Положение рудных тел в разрезе контролируется литологическим составом и проницаемостью пород. Рудные тела залегают в основном параллельно напластованию пород, местами они пересекают слоистость и образуют роллы.

Богатые по содержанию урана рудные тела окружены ореолом бедных руд и еще более широким ореолом пород с повышенной радиоактивностью.

Вокруг урановых рудных тел наблюдается относительно широкий ореол сопутствующих урану элементов, таких, как селен и молибден. Содержание их в урановых рудных телах или вблизи них в несколько раз выше, чем в безрудных песчаниках.

На битумно-урановых месторождениях ураносодержащее органическое вещество внутри рудных тел распределено неравномерно. Оно выполняет промежутки между зернами, образуя мелкую вкрапленность в порах пород, находится в виде небольших стяжений или сплошь пропитывает породы. Реже встречаются небольшие прожилки.

Распределение урана в органическом веществе также весьма неравномерно и содержание его изменяется от тысячных долей до процентов.

Ураноносное и неураноносное органическое вещество оказывают корродирующее влияние на вмещающие его породы. Наблюдается коррозия им терригенных и новообразованных минералов, таких, как карбонаты, полевые шпаты, глинистые минералы, кварц, пирит и др.

По минералогическому составу на рассматриваемых месторождениях выделяются зоны первичных неокисленных, переходных и вторичных окисленных руд. В первичных черных неокисленных рудах из минералов урана присутствуют коффинит и настуран, находящиеся в тесной ассоциации с органическим веществом. При этом встречаются руды, содержащие только коффинит (Амброзия-Лейк и др.). На ряде месторождений известны ванадиевые минералы: монтрозент, парамонтрозент и ванадиевая слюда.

Наиболее широко распространенными минералами на всех месторождениях являются пирит, реже марказит и еще реже сульфиды свинца, цинка, меди, молибдена, а также небольшие количества арсенидов, селенидов и др. Часть этих минералов наблюдается на нескольких месторождениях, а часть характерна лишь для того или иного месторождения или рудного района. Флюорит, например, встречается в первичных урановых рудах, залегающих в известняках, что связано с составом рудовмещающих пород.

Формирование вторичных окисленных руд часто зависело от понижения уровня грунтовых вод и влагоемкости рудовмещающих пород. На месторождениях, где при понижении уровня грунтовых вод породы, вследствие своих литологических особенностей, в избытке удерживали воду и доступ воздуха к рудам был замедлен или не имел места, процессы окисления руд развивались медленно. В породах иного литологического состава, в которых вода не удерживалась, процессы окисления руд шли интенсивно. На ряде месторождений отчетливо прослеживается, как окисленные руды залегают над уровнем грунтовых вод, а первичные неокисленные руды находятся ниже указанной границы. На некоторых месторождениях можно наблюдать все переходы от первичных неокисленных руд к полностью окисленным.

В зоне переходных руд, где в породах содержится небольшое количество органического вещества и преобладает восстановительная обстановка, на отдельных участках происходит замедленное окисление руд

с образованием вторичного сажистого настурана или урановой черны, самородного селена, реальгара, аурипигмента и ильземанита.

Окисленные руды встречаются в породах, которые чаще всего полностью лишены органического вещества или содержат его в очень незначительных количествах. В зоне окисления месторождений наблюдается большой комплекс вторичных окислов, силикатов, фосфатов, арсенатов, карбонатов, сульфатов, а также ванадатов урана. Там, где первичные руды богаты ванадием, зона окисления сложна и представлена многими ванадиевыми минералами. Уран в зоне окисления таких месторождений почти полностью фиксируется в сравнительно малорастворимых ванадатах, образуя такие минералы, как раувит, карнотит, туюмунит и метатуюмунит.

По вопросу генезиса битумно-урановых месторождений, несмотря на их относительно хорошую изученность, в настоящее время нет единого мнения.

Многие исследователи считают, что в образовании битумно-урановых месторождений основную роль играли экзогенные факторы. Одними геологами решающее значение придается деятельности подземных вод зоны глубокой циркуляции, температура которых была повышенной, а другими допускается участие вод неглубокой циркуляции с обычной для них низкой температурой. При этом источником урана и других металлов считаются различные породы области питания подземных вод или отложения самих водоносных горизонтов, по которым они циркулировали, и особенно красноцветные рудовмещающие толщи.

Часть исследователей главную роль в формировании битумно-урановых месторождений отводит эндогенным процессам, считая источником урана флюиды конечной стадии магматической деятельности. По их мнению, возможно смешивание этих флюидов, обогащенных ураном, с подземными водами, участвовавшими в рудообразовании.

Нет единого мнения и об источнике твердых битумов, с которыми связан уран на месторождениях. Подавляющее большинство исследователей считает, что исходным продуктом для них была нефть или газовый конденсат, которые в процессе окисления и полимеризации были превращены в твердые битумы. Отдельные исследователи считают, что твердые битумы не проходили стадии нефти и образование их, как и урана, связано с эндогенными процессами.

### ***Вопросы методики специализированного картирования районов возможного проявления битумно-уранового оруденения***

Работы по выявлению урановых месторождений рассматриваемого типа целесообразно разделить на три этапа.

На первом этапе на основе сбора и анализа имеющегося фондового геологического материала совместно со специалистами данного профиля намечаются крупные районы, перспективные по ряду геологических признаков на битумно-урановые месторождения. Анализ материала целесообразно проводить на существующих геологических и тектонических картах района м-ба 1:200 000 и мельче. При этом используются региональные признаки размещения месторождений. На картах выделяются краевые более мобильные части платформы и сопредельные с ними складчатые области, тектонически активизированные участки древних платформ, устойчивые платформенные блоки в складчатых областях, т. е. площади, на которых создавались условия для образования битумно-урановых месторождений. На картах отражаются известные ураноносные районы, в которых встречаются урановые месторождения и рудопроявления различного типа, выделяются области развития осадочных и магматических пород, а также подземных

вод с повышенным содержанием урана. Оконтуриваются площади развития различного возраста красноцветных отложений речного, дельтового, прибрежно-морского и лагунного происхождения, а также по возможности намечаются области аридного и субаридного полеоклимата для разных геологических периодов. Отмечаются все признаки гелия, нефти и горючего газа, оконтуриваются нефтегазоносные бассейны с указанием типов нефтей и газов в различных частях этих бассейнов. Выделяются малопродуктивные бассейны с окисленными нефтями, сильно нарушенные разломами или соляными штоками, с древним нефтегазонакоплением, а также самые краевые части нефтегазоносных бассейнов, которые, как правило, относительно мало перспективны на нефть и газ, но могут быть перспективны на уран.

В завершение первого этапа желательно составление региональной прогнозной карты на существующей геолого-структурной основе с выделением на ней перспективных площадей и комплексов отложений, которые представляются благоприятными по ряду поисковых признаков.

На втором этапе проводится собственно крупномасштабное специализированное геологическое картирование м-ба 1 : 50 000 на выделенных перспективных площадях. В процессе картирования составляется несколько карт в соответствии с закономерностями локального размещения месторождений: геолого-структурная, литолого-фациальная, карта нефтегазоносности, радиометрической изученности, радиогидрогеологическая и обобщающая прогнозная карта. При специализированном картировании используются данные изучения поверхности района, картографического и структурного бурения, общегеофизических (грави-, магнито- и электроразведка) и специальных радиометрических работ в комплексе с минералого-геохимическими исследованиями.

При составлении геолого-структурной карты большое внимание уделяется картированию складчатых и разрывных структур. Устанавливается время их возникновения, выделяются более перспективные древние, длительно и унаследованно развивавшиеся поднятия. На крупных поднятиях выделяются второстепенные антиклинали и купола, осложняющие их, а также соляные структуры. Отмечается степень их эрозионной и тектонической нарушенности. Карта сопровождается геологическими профилями.

Литолого-фациальные карты составляются для каждой предполагаемой перспективной свиты. В пределах оконтурированной площади развития красноцветных отложений необходимо выделить фациальную зону с определенным типом строения разреза, где в толще песчаников встречаются прослой глины или аргиллитов и глинистых алевролитов. На карту наносятся русловые отложения с указанием участков увеличения их мощности. Эти карты сопровождаются структурно-литологическими профилями, детализирующими строение разреза перспективных пачек вблизи отдельных благоприятных структур.

На карте нефтеносности района отмечаются все встречающиеся твердые, вязкие и жидкие битумы, их стратиграфическое распределение, степень окисленности и ураноносность, состав природных газов и содержание в них гелия.

Карта радиометрической изученности района отражает итоги всех проведенных радиометрических исследований, распределение радиоактивных аномалий, рудопоявлений и различного типа урановых месторождений на площади и в разрезе.

На радиогидрогеологических картах и профилях для отдельных водоносных комплексов пород наносятся границы артезианских бассейнов, области их питания и разгрузки, направление движения подземных вод, их химизм, степень минерализации, величины рН и Eh, содержание радиоактивных элементов, сероводорода и гелия.

Эпигенетические изменения пород фиксируются на литолого-фациальных картах и профилях или отмечаются на специальных картах, поскольку данный признак имеет особо важное поисковое значение.

В пределах площади развития осветленных пород с поверхности и в приповерхностных частях разреза отмечаются окисленные желтые и оранжевые породы и возможные проявления вторичных эпигенетических красцветов, которые иногда возникают при гипергенном изменении сероцветных пород. На площади развития осветленных пород следует обращать внимание на повышенные содержания в них селена, молибдена, урансодержащих и безурановых твердых битумов, которые могут быть ореолом вокруг основных рудных залежей.

Заканчивается второй этап обобщением материалов по всем перечисленным специализированным картам и составлением прогнозной карты м-ба 1:50 000 с выделением конкретных локальных структур и участков для поисков битумно-урановых месторождений. Учитывая, что имеющегося фактического материала для составления прогнозной карты, особенно по эпигенетическим изменениям на глубине, не хватает, целесообразно проведение на данном этапе поисково-картировочных буровых работ по редкой сети профилей с обязательным пересечением отдельными профилями локальных положительных структур.

На третьем этапе проводятся поисковые работы в намечившихся наиболее перспективных локальных структурах — буровые работы профилями вкрест простирания крыльев антиклинальных структур и разрывных нарушений.

Исходя из особенностей рассматриваемых месторождений урана, при описании керна особое внимание следует уделять вторичным изменениям пород, их цветовой и минералогической характеристике. Необходимо отмечать осветление красцветных отложений, каолинизацию, цецементацию и разрыхление пород, окремнение, вторичную кальцитизацию, пиритизацию и др. Следует обращать внимание на включения жидких, вязких и твердых битумов. Твердые битумы могут встречаться в виде массивных пластово-линзовидных тел, желваков, прожилков и различного типа цемента песчаных зерен породы. Распространенной формой их являются очень мелкие, меньше 1 мм в поперечнике, включения черного цвета, блестящие или матовые, иногда имеющие характерную, близкую к шаровидной форму. Их можно ошибочно принять за перемытые углистые включения, потому что они обычно насыщают прослой, согласно залегающие в рудовмещающих породах.

Все изменения окраски, эпигенетические новообразования и прочие признаки выносятся на литологические разрезы, по которым строятся эпигенетические профили. Своевременный анализ размещения эпигенетических зон на площади и в разрезе позволит с наименьшими затратами оценить перспективы локальной структуры.

#### **ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В СЕРОЦВЕТНЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ**

Инфильтрационные урановые месторождения, приуроченные к сероцветным песчаным водопроницаемым горизонтам с эпигенетическими и сингенетическими восстановителями (органическое вещество нефтяного и растительного рядов, пирит и др.), известны в осадочных отложениях чехла эпипалеозойских платформ. Они локализуются в основном в областях сопряжения крупных орогенных областей с прилегающими жесткими стабилизированными участками платформ и тяготеют к краевым частям крупных нефтегазоносных бассейнов. Месторождения располагаются на крыльях эродированных раскрытых структур, в центральных частях которых вскрыты дислоцированные породы фундамента, являющиеся областями питания кислородсодержащих ураноносных подзем-

ных вод. Месторождения занимают строго определенное положение по отношению к гидрогеологическим структурам и тяготеют к краевым частям малых артезианских бассейнов. Рудные тела формируются нисходящими кислородсодержащими ураноносными пластовыми водами.

Зоны пластового окисления, сформированные этими водами, как правило, характеризуются значительными размерами — они протягиваются на десятки, по-видимому, иногда и сотни километров от палеозойских областей питания до своего выклинивания, уходя нередко на глубины свыше 700 м. Количество зон пластового окисления в вертикальном разрезе зависит от количества водопроницаемых горизонтов. Основным рудоконтролирующим фактором для данного типа месторождений является приуроченность промышленных скоплений урана в пределах водоносного горизонта к восстановительному барьеру, расположенному на границе пластово-окисленных пород с сероцветными отложениями содержащими эпигенетические (битумы, пирит) или сингенетические (растительная органика, пирит) восстановители (рис. 9) (Батулин и др. 1965).

Основные промышленные залежи многих месторождений сформированы на границах пересечения зон пластового окисления с вторично восстановленными отложениями, обогащенными органическим веществом нефтяного ряда различной степени полимеризации и подвергшимся эпигенетическим изменениям — пиритизации, карбонатизации и т. д. (Воробьев, Грушевой, 1966).

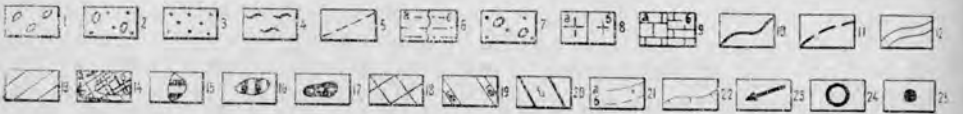
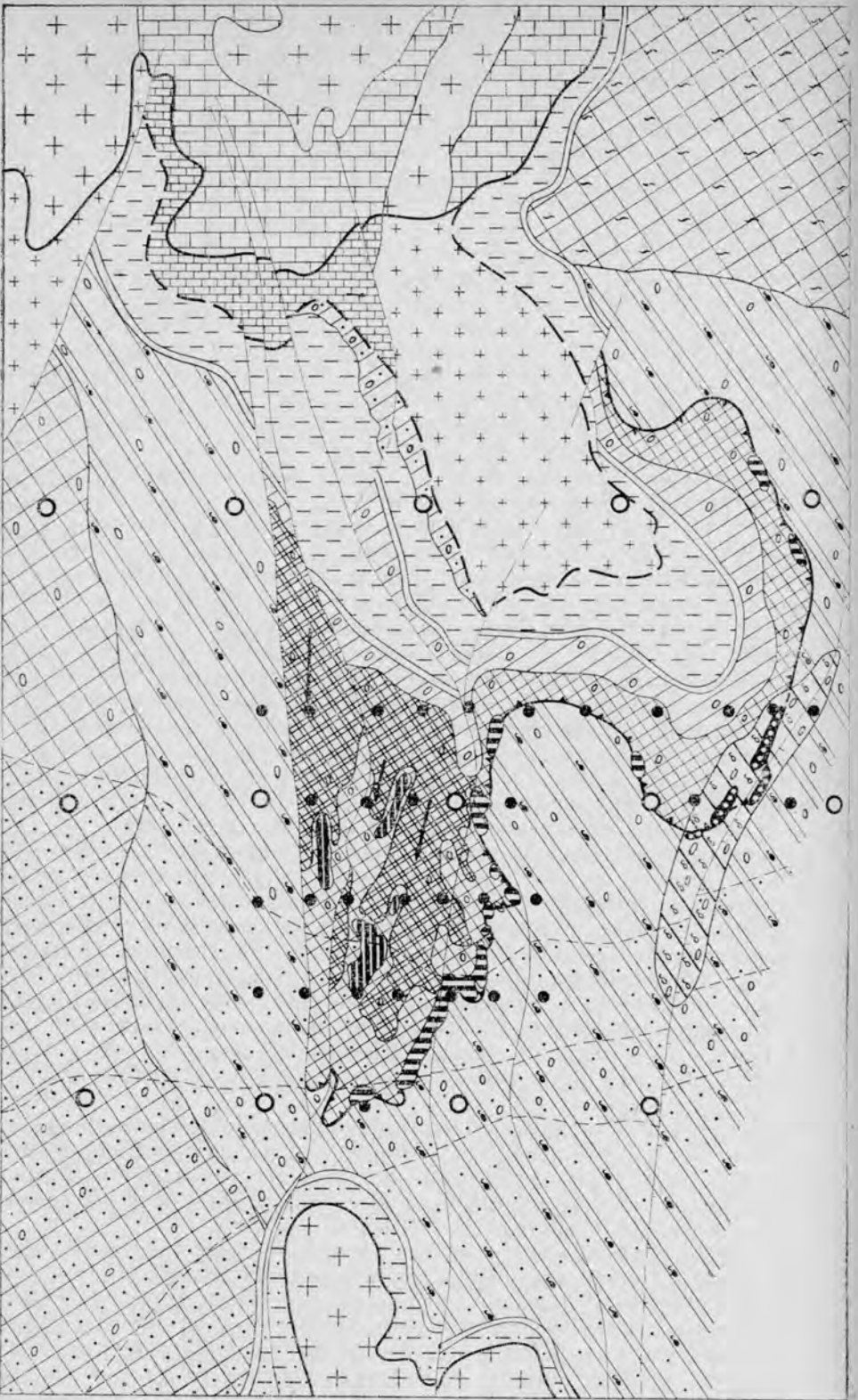
Рудные тела в плане имеют линзовидную форму, характеризуются удлиненно-серповидной или подковообразной формой (роллы), выпуклая сторона которой обращена в сторону движения потока, и достигают значительных размеров. Рудоносные полосы прослеживаются вдоль границы пластового окисления с перерывами на многие километры.

На некоторых месторождениях со сложным литологическим составом водоносного горизонта рудные тела могут быть оторваны от основной фронтальной границы пластово-окисленных пород. В таких случаях оруденение располагается на участках сочленения интенсивно окисленных и менее окисленных и неокисленных пород в пределах контура зоны пластового окисления (см. рис. 9). На других месторождениях отмечается отрыв рудных тел от зоны пластового окисления на расстояние до 1—2 км в сторону сероцветных пород, что объясняется вторичным восстановлением зоны пластового окисления пострудными восстановителями ( $H_2S$ ), проникавшими по разрывным нарушениям (рис. 10). Исследования последних лет показывают, что на многих месторождениях урана рассматриваемого типа восстановительные и окислительные (рудоформирующие) этапы проявлялись последовательно несколько раз, что и объясняет во многих случаях сложную картину размещения рудных тел.

При наличии нескольких водоносных горизонтов оруденение может быть многоярусным, причем, как правило, в более высоких стратиграфических горизонтах оно удалено на большее расстояние от прилегающих палеозойских массивов. Глубины залегания рудных залежей колеблются от нескольких десятков до 700 и более метров.

Промышленные залежи сложены тонковкрапленными неконтрастными рудами. Урановая минерализация в рудных телах представлена в основном регенерированными урановыми чернями и тонкодисперсной урановой смолкой. На отдельных месторождениях в небольших количествах отмечается ураноносный оксикерит. На многих месторождениях этого типа в рудах в заметных количествах присутствует селен; иногда в повышенных концентрациях отмечается молибден.

Рудные тела, как правило, не выходят на поверхность и являются «слепыми», однако на выходах рудоносного водопроницаемого пласта на поверхности иногда наблюдаются повышения гамма-активности. В слу-



чае неглубокого залегания рудного тела на выходах рудоносного горизонта нередко отмечается богатая вторичная урановая минерализация, которая ассоциирует с гидроокислами марганца и иногда с гипсом.

Следовательно, повышенная, по сравнению с фоновой, радиоактивность а также вторичная урановая минерализация на выходах водопроницаемых отложений являются одним из поисковых признаков инфильтрационного оруденения на глубине.\*

Урановое оруденение располагается в водопроницаемых горизонтах вне зависимости от фациальных особенностей вмещающих пород. В ряде случаев рудные тела пересекают под прямым углом границы фациальных зон (см. рис. 9).

Не обнаруживая связи с первичными особенностями вмещающих пород, урановое оруденение всегда четко контролируется эпигенетической зональностью водоносного горизонта, которая заключается в закономерном зональном распределении в породах вторичных минералов (Каширцева, 1964; Батулин и др., 1965; Воробьев, Грушевой, 1966). Этой же зональности подчиняются селеновая и урановая минерализации.

Эпигенетическая зональность представлена следующими зонами (рис. 11).

Зона поверхностного окисления (I) охватывает приповерхностные части всех слоев разреза. Вне зависимости от проницаемости породы интенсивно лимонитизированы и окрашены в желтый и коричневатые цвета (на рис. 11 зона I не выделена).

Зона пластового окисления (II) развивается от зоны поверхностного окисления и образует длинные языки в проницаемых горизонтах, заключенных между водоупорами. Зона пластового окисления по степени окисленности железа разделяется на 3 подзоны: полного окисления сульфидного и силикатного железа (IIa), полного окисления сульфидного железа (IIб) и частичного окисления сульфидного железа (IIв).

Подзона полного окисления сульфидного и силикатного железа (IIa) имеет наибольшую протяженность (от 1 до 10 км и более) и четко выделяется интенсивной желтой окраской пород, обусловленной развитием коллоидных гидроокислов железа. На отдельных участках породы подзоны нередко окрашены в ярко-красный цвет. Сульфиды железа в пределах подзоны полностью окислены, а силикатные минералы — хлорит, слюды, глауконит — замещены безжелезистыми гидрослюдами и гидроокислами железа. Полностью окислено также органическое вещество, а растительные остатки замещены гидроокислами железа.

\* Вторичная минерализация на выходах мощного глинистого водоупора является результатом инсоляции и не указывает на наличие оруденения на глубине.

Рис. 9. Прогнозная карта на инфильтрационные урановые месторождения, связанные с зонами пластового окисления (отложения, перекрывающие рудоносный горизонт, не показаны). Составил Г. В. Грушевой.

*Отложения рудовмещающего горизонта: 1 — фашия предгорного шлейфа (конгломераты, пудинговые песчанки); 2 — фашия аллювиальной равнины (мусорные песчанки, гравелиты); 3 — фашия русловые, стречневые и пристречневые (косослоистые песчанки и пески с линзами гравелитов); 4 — фашия пойменные; 5 — границы фациальных зон; отложения, подстилающие рудоносный горизонт: 6 — глины (а) и алевролиты (б); 7 — гравелиты, мусорные песчанки; образования фундамента: 8 — граниты (а — выходящие на поверхность, б — под покровом неоген-четвертичных отложений); 9 — известняки (а — выходящие на поверхность, б — под покровом неоген-четвертичных отложений); 10 — границы выходов фундамента на поверхность; 11 — граница выходов фундамента под покровом неоген-четвертичных отложений; 12 — выход рудоносного горизонта; 13 — зона поверхностного окисления; 14 — зона пластового окисления (а — мощностью от 5 до 10 м, б — мощностью от 10 до 20 м); 15 — рудные тела, приуроченные к границе зоны пластового окисления; 16 — рудные тела в пределах контура зоны пластового окисления на сопряжении мощных окислительных потоков; 17 — рудные тела, оторванные от зоны пластового окисления и захороненные во вторично восстановленных отложениях; 18 — окислительная геохимическая обстановка в рудовмещающих отложениях; 19 — восстановительная геохимическая обстановка в рудовмещающих отложениях, обусловленная дорудным внедрением битумов; 20 — восстановительная геохимическая обстановка в рудовмещающих отложениях, обусловленная пострудными внедрениями битумов; 21 — разрывные нарушения наблюдаемые (а) и предполагаемые (б); 22 — разрывные нарушения, испытывавшие неоднократное подновление; 23 — основные направления движения кислородных потоков; 24 — буровые скважины 1-го этапа оценки площади; 25 — буровые скважины 2-го этапа.*

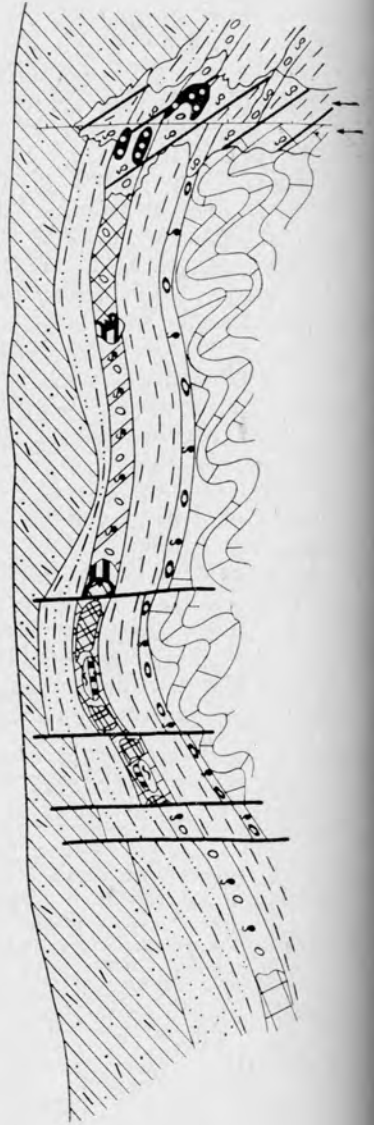
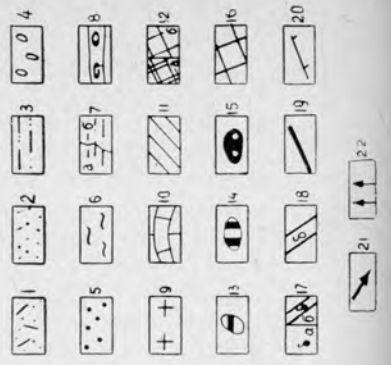
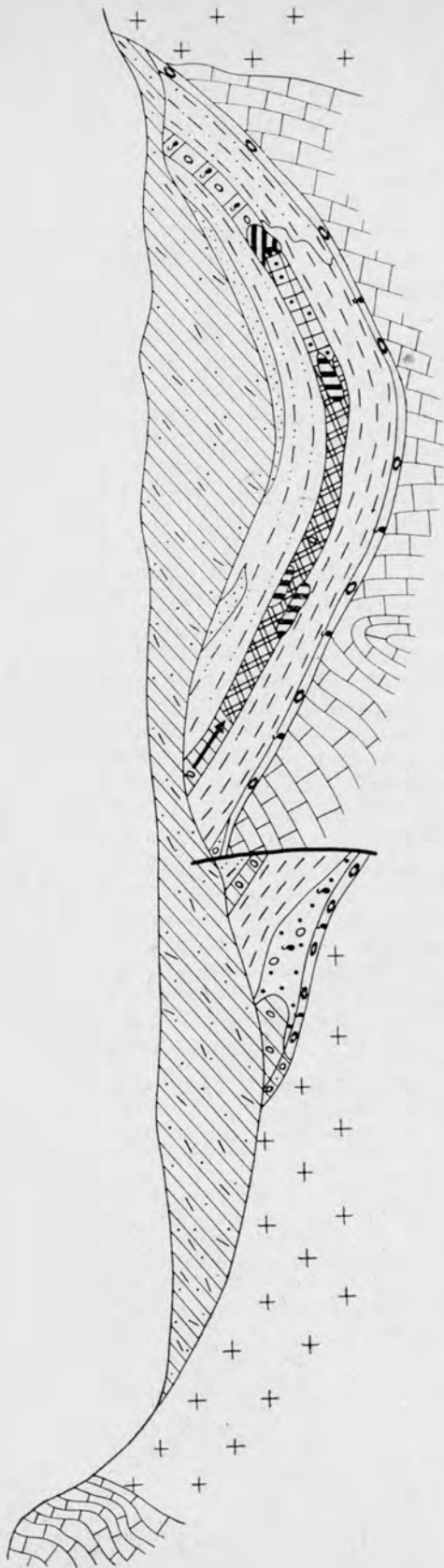


Рис. 10. Разрезы к прогнозной карте на инфильтрационные урановые месторождения, связанные с зонами пластового окисления (см. рис. 13). Составил Г. В. Грушеной.

Отложения чехлы: 1—3 — отложения, перекрывающие рудоносный горизонт; 4 — глины, песчанки, суглинки континентальных моласс; 2—3 — отложения аллювиальных равнин (2 — песчанки, 3 — запесоченные глины и алевролиты); 5 — залеженные глины и алевролиты; 6 — базальные конгломераты, гравелиты, 5 — песчанки, 6 — глина; 7 — отложения рудоносного горизонта; 8 — базальные конгломераты, гравелиты, 5 — песчанки, 6 — глина; 9 — трапы, 10 — известняки; 11 — зона поверхностного окисления; 12 — зона пластового окисления (а — глины, б — алевролиты); 13 — рудные тела, приуроченные к границе зоны пластового окисления; 14 — рудные тела в пределах контура зоны пластового окисления на сопряжении мощных окислительных потоков; 15 — рудные тела, оторванные от зоны пластового окисления во вторично восстановленных отложениях; 16 — окислительная обстановка в рудопроницаемых отложениях; 17 — восстановительная геохимическая обстановка, обусловленная дорудным выделением битумов (а — в рудопроницающей пачке, б — в рудоносном горизонте); 18 — восстановительная геохимическая обстановка, обусловленная построением выделением битумов; 19 — разрывные нарушения; 20 — разрывные нарушения, испытывающие неоднократные подновления; 21 — основные направления движения кислородных рудоформирующих потоков; 22 — направления движения пострудных восстановителей.

Подзона полного окисления сульфидного железа (IIб), измеряемая сотнями метров, сменяет первую подзону по направлению потока и отличается от нее зеленовато-желтой и лиловой окраской пород, обусловленной наличием силикатов железа (хлорит, биотит). Сульфиды почти нацело замещены гематитом и гидрогетитом.

Подзона частичного окисления сульфидного железа (IIв) сменяет вторую подзону по потоку и отличается от нее пятнистой пестрой окраской пород; на сером фоне развиваются ярко-красные, желтые и лиловые пятна. Размеры подзоны — первые десятки метров. В породах сосуществуют сульфиды и гидроокислы железа; в неокисленных участках сохраняется углефицированная органика, твердые битумы, самородный селен и ферроселит. В краевой части этой подзоны иногда выделяются участки обеленных пород. В пределах подзоны встречается остаточная черневая минерализация, иногда в заметных количествах.

Породы всех отмеченных подзон характеризуются повышенным, по сравнению с неизменными породами, содержанием урана за счет сорбции его гидроокислами железа. Породы подзоны IIб также характеризуются повышенным содержанием урана, причем для них характерен коэффициент радиоактивного равновесия 200—500%. В породах подзоны IIв содержание урана нередко достигает промышленных значений. Остаточные руды интенсивно окислены, а коэффициент равновесия колеблется от 200 до 15000%. Следовательно, повышенные содержания урана в измененных породах краевых частей зоны пластового окисления и сдвиг равновесия в сторону радиация позволяют отличать рудную эпигенетическую зону пластового окисления от безрудной.

Зона уранового оруденения (III) в плане окаймляет зону пластового окисления. Она подразделяется на две подзоны: подзону черневых руд (IIIа) и подзону ореола рассеяния (IIIб).

Подзона черневых руд (IIIа) представлена неокисленными породами серого и темно-серого до черного цветов. Интенсивность окраски находится в прямой зависимости от содержания тонкорассеянных урановых черней, пигментирующих породу. Распределение черней определяется текстурой вмещающих пород. Порошковые, сажистые скопления урановых черней пропитывают глинистый цемент, выполняют поры и каверны, тончайшей рубашкой обволакивают зерна сульфидов, кварца и кремнистых сланцев. В богатых рудах, которые обычно локализуются в мешковых частях роллов на контакте с зоной пластового окисления, в небольших количествах присутствует настуран. Он цементирует терригенные и аутигенные минералы, образует мелкие почки и

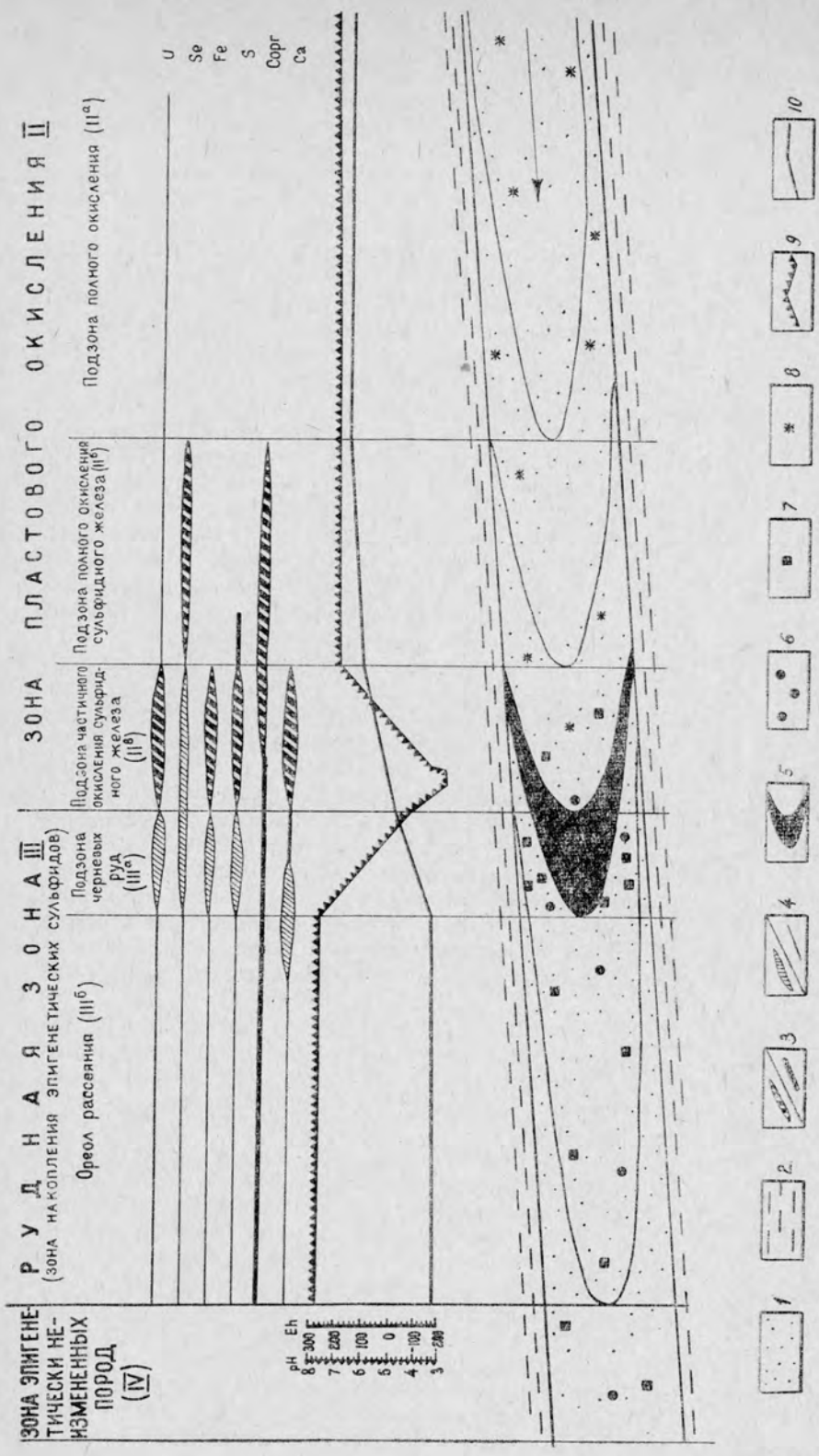


Рис. 11. Рудоконтролирующая эпигенетическая зональность месторождений инфильтрационного типа.

1 — песчанки рудоносного горизонта; 2 — глины и аллювиолиты волопорного горизонта; 3 — область мобилизации элементов (а — интенсивная, б — слабая); 4 — область накопления элементов (а — интенсивная, б — слабая); 5 — рудное тело; 6 — битумы; 7 — пирит; 8 — гидрокислы железа; 9 — кривая изменения pH; 10 — кривая изменения Eh.

зерна неправильной формы и обычно ассоциирует с сульфидами железа. Концентраты урановой черны имеют следующий элементарный состав:  $n \cdot 10^{-1}\%$  —  $n\%$  — U, Si, Al, Fe;  $n \cdot 10^{-1}\%$  — Na, Mg, Ca, Ti;  $n \cdot 10^{-2}\%$  — Y, Mn, Mo, Ba, Sr, Zr;  $n \cdot 10^{-3}\%$  — Co, Cu, Pb; следы — As, Ge, Y, TR, Ga, Se.

Урановые руды, как правило, характеризуются смещением радиоактивного равновесия в сторону урана и коэффициент радиоактивного равновесия колеблется от 55 до 100%. По данным изотопного анализа ( $U^{234}/U^{238}$ ) и отношения иония к урану выделяются три типа руд: разрушающиеся, равновесные и формирующиеся. Первые располагаются вдоль контакта с окисленными породами подзоны IIв, равновесные руды распространены в центральных частях залежей, а формирующиеся тяготеют к хвостовым частям залежей на контакте с подзоной ореола рассеяния (IIIб). Приведенные данные показывают, что уран выносится из головных частей рудных тел и переотлагается в их внешних частях, наиболее удаленных от окисленных пород. Совместно с ураном в рудах накапливаются эпигенетические сульфиды железа, минералы селена и молибдена, а также эпигенетические карбонаты и барит (радиобарит). Среднее содержание селена в рудных телах составляет  $n \cdot 10^{-3}\%$  и только на отдельных участках концентрация селена достигает  $n \cdot 10^{-2}\%$ . Селеновая минерализация представлена ферроселитом и самородным гамма-селеном. Кроме того, повышенные концентрации селена отмечаются в эпигенетических сульфидах. Концентрация молибдена достигает в отдельных рудных телах  $n \cdot 10^{-2}\%$ . Среднее содержание сульфидов железа колеблется в пределах 0,5—1,5%, карбонатов — 1—2%, иногда до 3—4%. В рудах нередко присутствуют в незначительных количествах твердые ураноносные битумы, а также отмечаются растворимые легкие битумы. Количество твердых ураноносных битумов невелико и отмечаются они не на всех месторождениях урана.

Область сопряжения подзоны черневых руд (IIIа) и подзоны частичного окисления сульфидного железа (IIв), где эпигенетические процессы протекают с наибольшей интенсивностью в условиях смены окислительно-восстановительного потенциала (Eh) с положительных значений на отрицательные и подкисления среды, называется восстановительным геохимическим барьером.

Подзона ореола рассеяния (IIIб) прослеживается за рудными телами широкой полосой. Минералов урана здесь не отмечается, однако содержание урана в породах в несколько раз превышает кларковое. В породах подзоны нередко распространены жидкие и вязкие битумы.

Зона сероцветных пород (IV) характеризуется тем, что она не затронута рудоформирующими эпигенетическими процессами. Обычно в этих породах фиксируются жидкие и вязкие углеводороды различной степени полимеризации.

Следует отметить, что вязкие битумы в заметных количествах и видимые в штуфах присутствуют далеко не на всех инфильтрационных месторождениях урана. На некоторых объектах битумы в рудовмещающих отложениях устанавливаются лишь химическими методами; об их присутствии в рудовмещающих породах в настоящем или недалеком геологическом прошлом можно судить непосредственно в полевых условиях лишь по эпигенетическим изменениям восстановительного этапа (пиритизация, карбонатизация, реже обеление, окремнение и др.).

Описанная рудоконтролирующая эпигенетическая зональность обобщает характерные изменения пород в пределах определенного района, но можно утверждать, что и в несколько иных геологических обстановках, в краевых частях областей тектонической активизации или в межгорных впадинах в пределах последних, несмотря на возможные отличия в эпигенетических изменениях отдельных зон и подзон, указанная схема зональности в целом будет сохраняться.

Возраст месторождений, сформированных эпигенетическими процессами, определяется молодыми орогеническими движениями областей тектонической активизации.

Важнейшими условиями, необходимыми для формирования оруденения, являются:

1. Благоприятный тектонический режим области и структурное положение района.

Урановые месторождения приурочены в основном к областям сопряжения крупных тектонически активизированных зон платформ с прилегающими жесткими стабилизированными участками платформ, которые реагируют на молодые тектонические движения блоковыми перемещениями фундамента. Для областей сопряжения характерно унаследованное развитие локальных структур в течение длительного отрезка времени, многократное повторение вертикальных движений в пределах отдельных участков, что приводит к полному или значительному раскрытию положительных структур и выходу на поверхность пород фундамента. Подземные воды, перемещающиеся в фундаменте от сводово-глыбовых областей (внешний источник питания) на значительные расстояния преимущественно по зонам тектонических нарушений, разгружаются в пределах указанных локальных выходов фундамента. Последние являются местными областями питания кислородсодержащих ураноносных пластовых вод в отложениях чехла. Многократное повторение восходящих тектонических движений создает на локальных участках, примыкающих к палеозойским поднятиям, благоприятные условия для «перекатывания» и обогащения рудных концентраций.

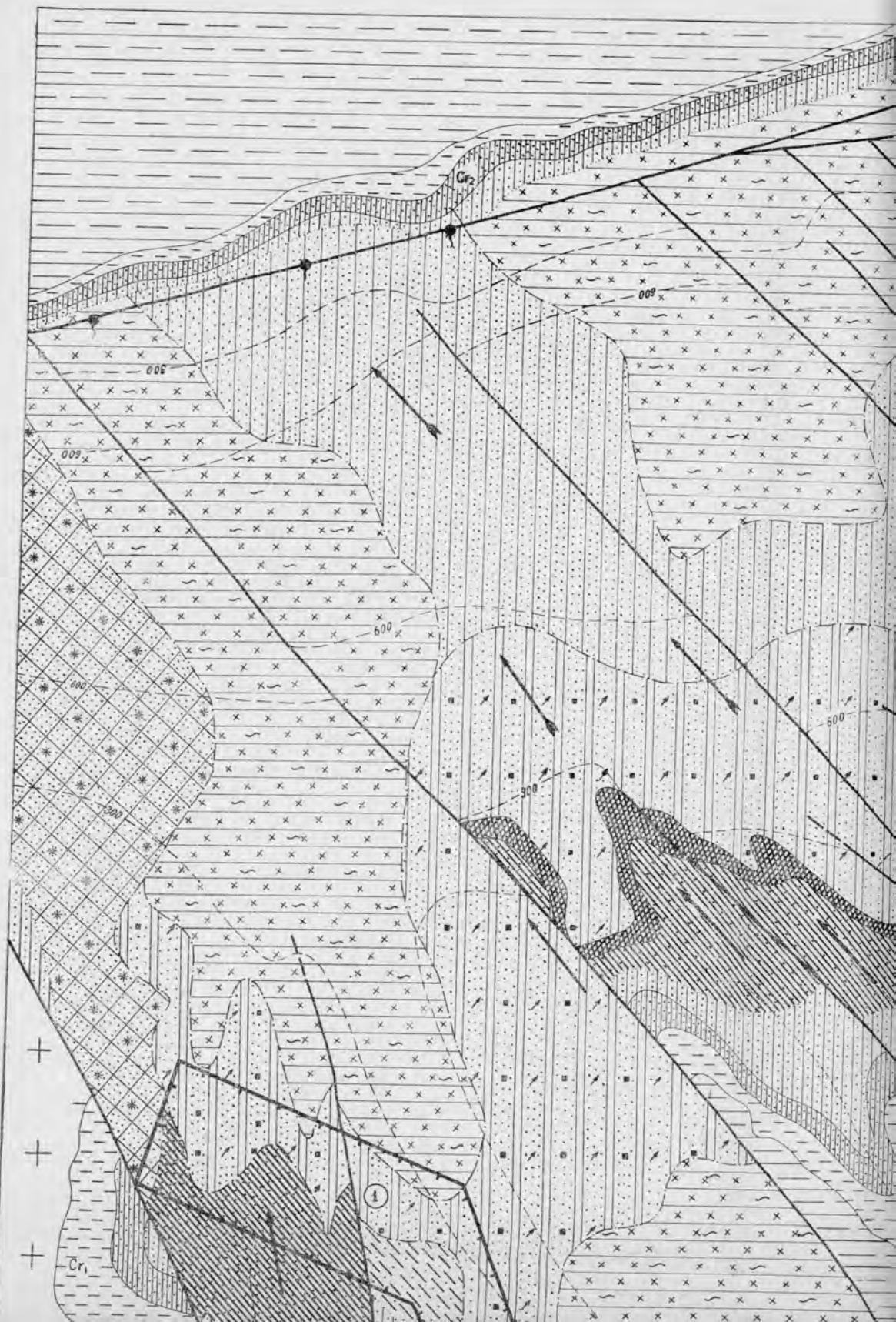
При анализе структурного положения района следует обращать внимание на удаленность района от границы области тектонической активизации (область проявления сводово-глыбовых движений). Вблизи последней, вследствие интенсивного инфильтрационного процесса, может преобладать процесс разрушения ранее сформированного оруденения, а на некотором удалении от нее создаются наиболее благоприятные условия для рудообразования.

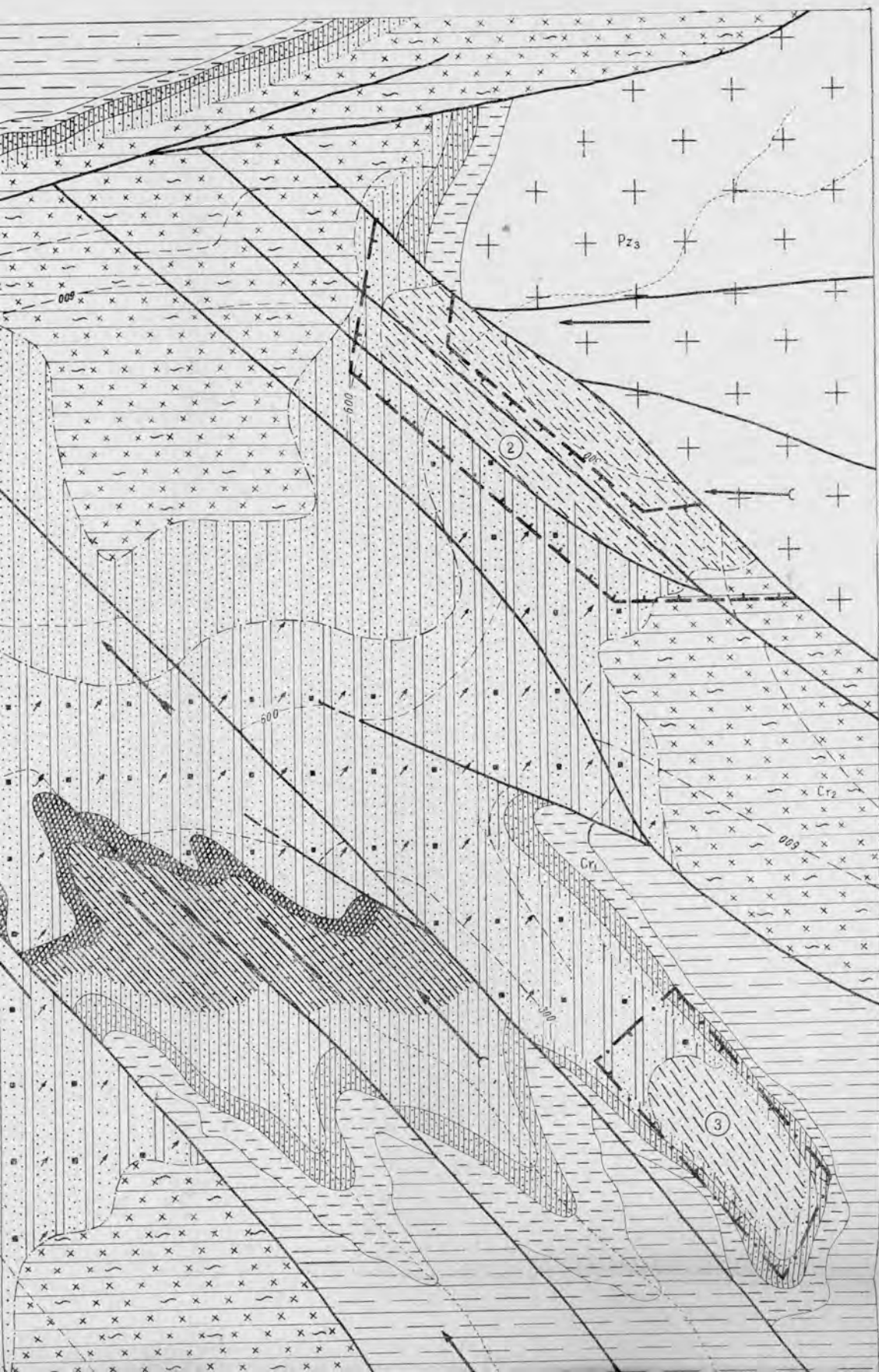
Межгорные впадины в пределах областей тектонической активизации также на отдельных участках могут быть перспективными для обнаружения инфильтрационных урановых месторождений в терригенных песчаных отложениях. До настоящего времени здесь установлены инфильтрационные урановые месторождения лишь в карбонатных отложениях, а в пределах локально восстановленных участков среди красноцветных песчаных отложений выявлены лишь непромышленные скопления урана.

Существенную роль в локализации оруденения играют разрывные нарушения, пересекающие отложения фундамента и чехла. Они могут рассматриваться как благоприятный фактор для формирования пластовых потоков. Эти разломы оказывают существенное влияние на локализацию и динамику пластового ураноносного потока и препятствуют растеканию подземных вод по водопроницаемому горизонту (рис. 12, участок 1\*). Исключение составляют крупные разрывные нарушения в отложениях чехла на некотором удалении от границы выхода фундамента, ориентированные вкрест основного направления движения подземных вод. Такие разломы могут обусловить местную разгрузку пластовых ура-

\* Площадь характеризуется благоприятным сочетанием многих факторов. Установлена зона пластового окисления, развивающаяся по породам, обогащенным восстановителями. Содержание урана в водах зоны пластового окисления, как и в области питания, превышает  $5 \cdot 10^{-5}$  г/л. В породах фундамента, в области питания, как и на выходах водоносного горизонта, присутствуют рудопроявления урана. Структурное положение участка благоприятное, обеспечивающее создание направленного кислородного потока. Глубина залегания перспективного горизонта от поверхности небольшая.

...привести к формированию рудоносной пластовой зоны





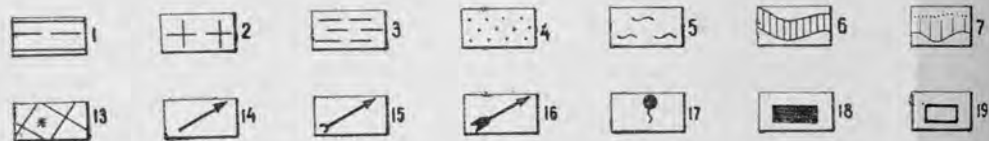
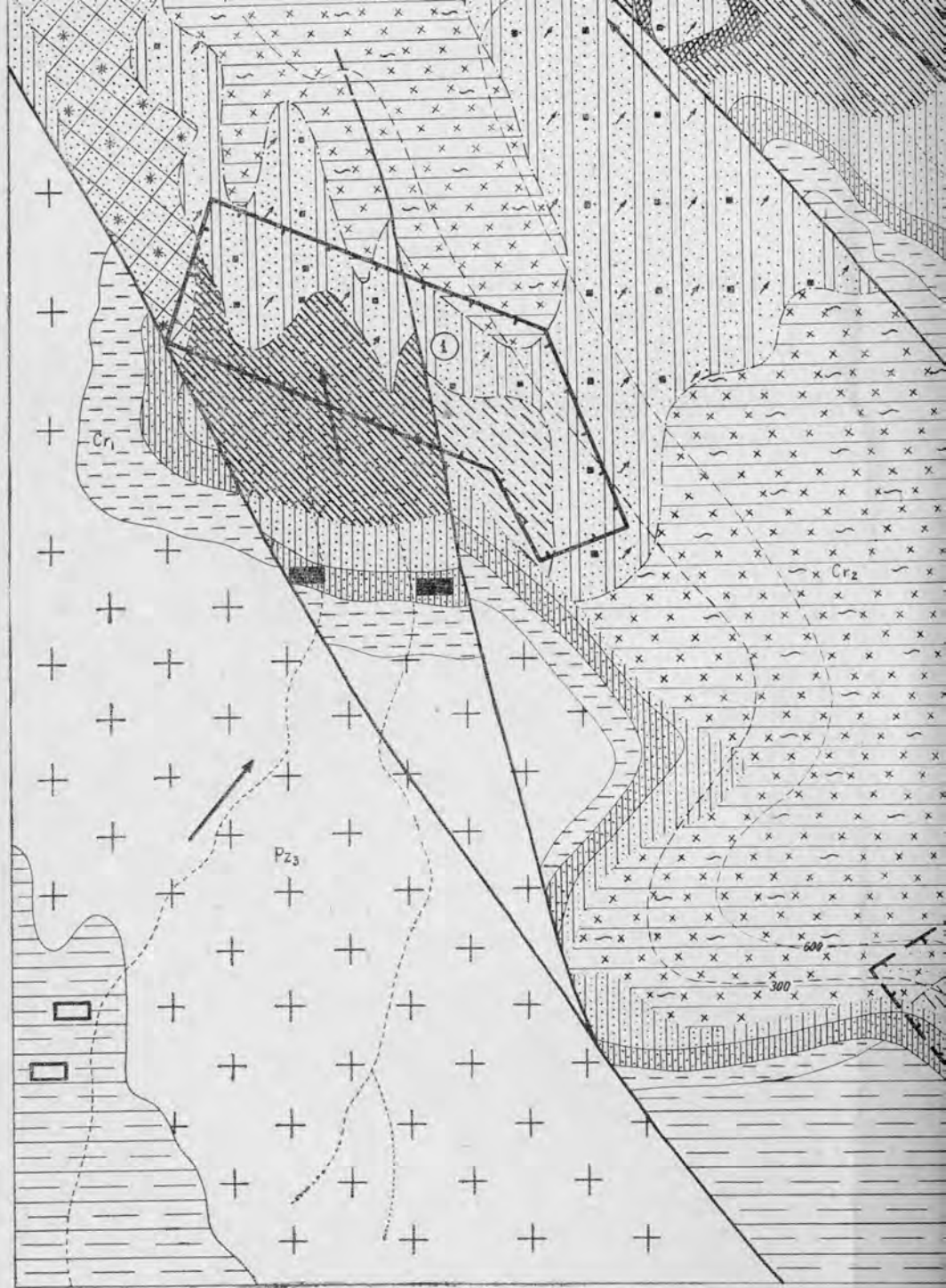
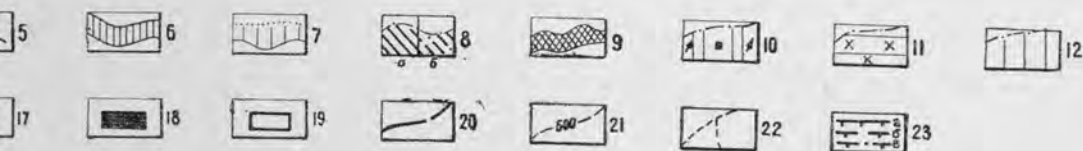
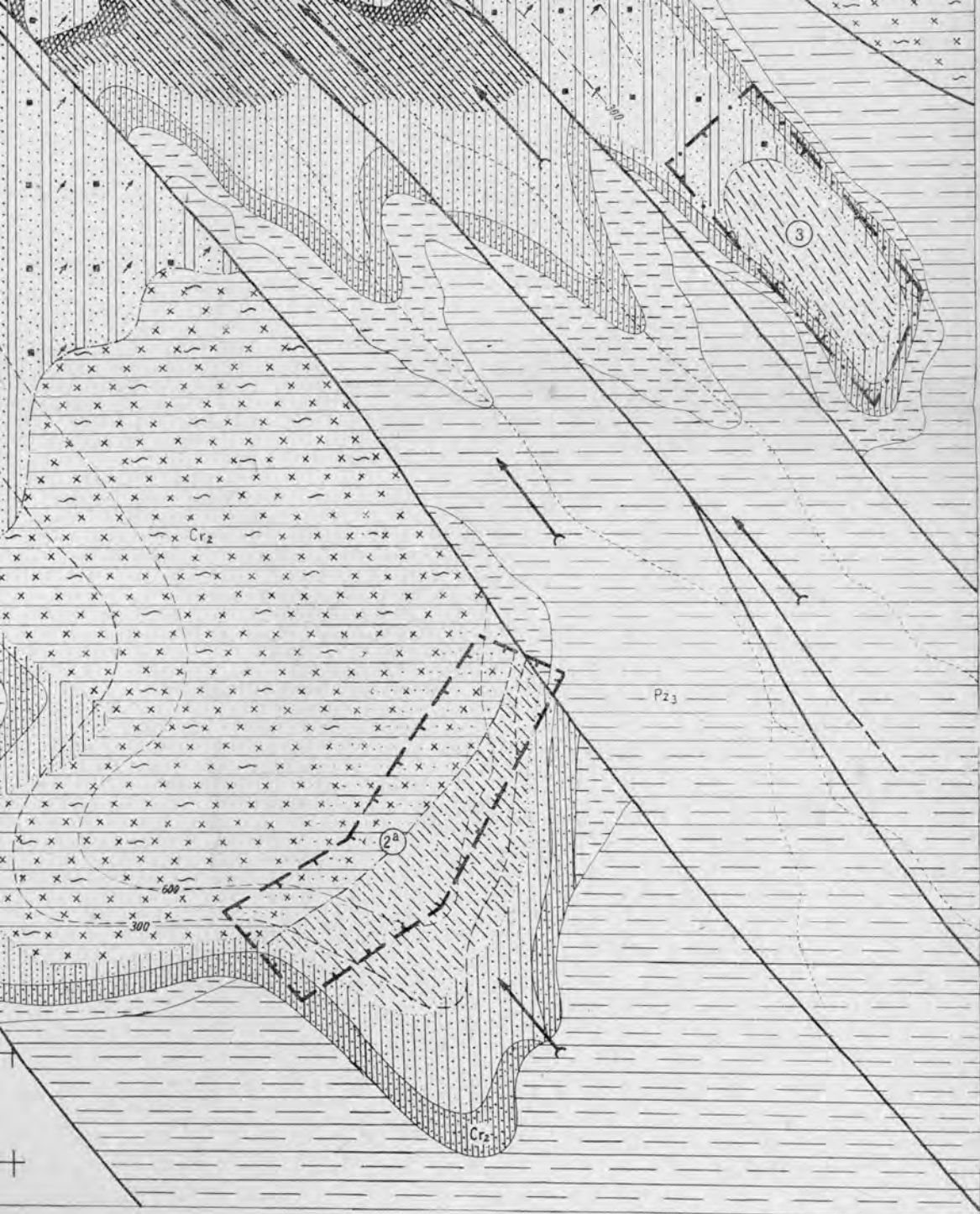


Рис. 12. Прогнозная карта на инфильтрационные урановые месторождения, связанные с зонами окисления пород водоснабжающего массива. Составил Е. М. Шмидт

Области отсутствия пород данного водоносного горизонта: 1 — выходы сланцеватых толщ; 2 — выходы интрузивных пород водоносного горизонта; 4 — песчаные породы; 5 — глинистые породы; 6 — выходы данного водоносного горизонта; 7 — выходы пород, развитых в условиях окисления, установленных (а) и предполагаемых (б); 9 — зоны уранового оруденения; 10 — эпитаксиальное окисление или углístico рядов и иридом; 11 — первично сероцветные отложения с сульфидом железа; 13 — красноцветные отложения; 14—16 — направления движения подземных вод с содержанием сульфидов железа; 18 — рудопроявления урана на выходах водоносного горизонта; 19 — рудопроявления урана в водоносном горизонте от поверхности; 22 — тальвеги оврагов; 23 — границы перспективных площадей, выявленных перспективами (участки)



орождения, связанные с зонами пластового окисления, для одного из водоносных горизонтов артезианского массива. Составил Е. М. Шмаринвич.

ланцеватых толщ; 2 — выходы интрузивных пород; 3 — выходы пород, подстилающих рудоносный горизонт. Области уранового оруденения; 10 — эпигенетически восстановленные сероцветные отложения, обогащенные органическим веществом; 12 — первично сероцветные отложения, лишенные органического вещества и движения подземных вод с содержанием урана:  $>5 \cdot 10^{-5}$  г/л (14),  $5 \cdot 6^{-6} - 5 \cdot 10^{-3}$  г/л (15),  $<5 \cdot 10^{-6}$  г/л (16); 17 — очаги осного горизонта; 19 — рудопоявления урана в породах фундамента; 20 — линии разломов; 21 — изолинии глубин зале- 3 — границы перспективных площадей: а — первой очереди (участок 1), б — второй очереди (участок 2 и 2а), в — с не- выясненными перспективами (участок 3).

ноносных вод или привести к формированию рудоносной пластовой зоны на большой глубине, недоступной для изучения (рис. 12, участки 2 и 2А)\*.

2. Благоприятные гидрогеологические структуры в совокупности с определенной гидрохимической и радиогидрохимической спецификой.

Основным условием формирования оруденения является наличие областей питания артезианского бассейна, примыкающих к выходам фундамента (с трещинными водами), в пределах которых широко распространены кислородсодержащие ураноносные (содержания урана  $n \cdot 10^{-5}$  г/л) пресные и слабосоленоватые подземные воды. Трещинные воды фундамента питают краевые части артезианских бассейнов. Движение кислородсодержащих ураноносных пластовых вод происходит длительно и направлено к областям их разгрузки. В процессе движения воды кислород полностью расходуется на окисление восстановителей в породах, что приводит к разрушению растворимых карбонатных соединений шестивалентного урана и выпадению урана на восстановительном геохимическом барьере при температурах, не превышающих первых десятков градусов.

3. Благоприятные фациально-палеогеографические условия и литологические особенности рудовмещающих отложений.

Наиболее благоприятными являются сероцветные аллювиальные и прибрежно-морские отложения, сформированные в пределах аллювиальных равнин и прибрежной части шельфа. Некоторые комплексы рудовмещающих отложений характеризуются первичными благоприятными геохимическими особенностями — восстановительной средой, обусловленной наличием сульфидов железа и органики углстого ряда (рис. 12, участок 2).

Следует отметить, что первичная восстановительная геохимическая обстановка, как правило, не обеспечивает формирования промышленных скоплений урана (за исключением угленосных отложений), и для продуктивного развития рудного процесса необходима дополнительная эпигенетическая восстановленность рудовмещающих отложений углеводородами нефтяного ряда (рис. 12, участок 1). Обязательным условием для развития эпигенетического процесса является наличие проницаемых сероцветных (преимущественно песчаных) пластов, чередующихся с относительно непроницаемыми горизонтами.

4. Приуроченность района к краевым частям крупных нефтегазоносных областей и наличие признаков органики нефтяного ряда или продуктов ее окисления в пределах горст-антиклинальных структур.

Наиболее благоприятными являются гидрогеологически раскрытые структуры, на крыльях которых сохранились участки скоплений битумов различной степени полимеризации. Пластовые кислородсодержащие ураноносные воды, двигаясь по проницаемым горизонтам, формируют промышленные залежи при пересечении зоной пластового окисления скоплений продуктов окисляющихся нефтей (битумов) и эпигенетических новообразований (сульфиды железа и др.) (Воробьев, Грушевой и др., 1967).

5. Аридный климат, благодаря высокой испарительной концентрации, способствует повышению концентрации урана (до  $n \cdot 10^{-5}$  г/л)

\* К перспективным площадям второй очереди относятся участки, где установлены или могут предполагаться зоны пластового окисления с неизученными контактами, но при оценке этих площадей необходимо учитывать следующие отрицательные моменты: а) неблагоприятная структурная обстановка (перпендикулярные направлению движения кислородных пластовых вод разломы, могущие обусловить их местную разгрузку или уход на большие глубины в породе фундамента, участок 2); б) неблагоприятный литолого-геохимический состав вмещающих отложений — развитие пород, бедных восстановителями (участок 2а, частично участок 2); в) невысокие содержания урана в подземных водах; г) отсутствие рудопроявлений урана в области питания и на выходах водоносного горизонта (участки 2 и 2а); д) значительные глубины залегания перспективного горизонта от поверхности (участок 2а, частично участок 2).

в трещинных и трещинно-грунтовых водах палеозойских массивов, которые затем проникают в артезианские бассейны по проницаемым отложениям чехла платформ.

В связи с тем что в условиях аридного климата в почвах отсутствуют восстановители, растворенный в воде кислород не расходуется в приповерхностных условиях, а проникает вместе с ураном глубоко по водоносным пластам, где и формирует зону пластового окисления. Роль климата в формировании инфильтрационного уранового оруденения изучена еще недостаточно. Следует иметь в виду, что в последние годы обнаружены инфильтрационные месторождения и вне пределов зон аридного климата.

Промышленные концентрации металла формируются только при условии сочетания всех перечисленных факторов. Поэтому последние должны быть учтены при проведении детальных съемочных работ в районах, где возможно обнаружение инфильтрационных месторождений. В случае отсутствия многих положительных факторов выделяются площади с неясными перспективами (рис. 12, участок 3\*).

В настоящее время в обязательный комплекс карт, составляемых при геологической съемке, помимо собственно геологической карты, входят дополнительные карты: гидрогеологическая, геоморфологическая, четвертичных отложений, а также карта полезных ископаемых. Этот набор карт представляется недостаточным для прогнозирования инфильтрационных урановых месторождений.

Работы по составлению геологических карт районов, сложенных платформенными осадочными породами, обычно сводятся к тщательному прослеживанию и нанесению на карту контуров выходов различных стратиграфических комплексов на поверхность. При этом в пужной степени не анализируются структуры и, в первую очередь, разрывные нарушения. На геологических картах м-ба 1 : 200 000 с учетом данных буровых скважин на площадях развития мезозойско-кайнозойского осадочного чехла платформ крайне слабо отражены разрывные и складчатые структуры, которые в действительности проявлены весьма широко. Причина такого искажения заключается в том, что в процессе геологической съемки на закрытых территориях с использованием данных по скважинам не всегда производится составление большого числа геологических разрезов по различным направлениям.

Обязательным элементом геологической съемки в настоящее время является составление гидрогеологической карты. Однако, как правило, эта карта не дополняется специальными радиогидрохимическими картами и поэтому мало чем может помочь при прогнозировании и поисках инфильтрационных урановых месторождений. Гидрогеологическое опробование обычно ограничивается определением величины общей минерализации, содержания растворенного урана и сокращенным анализом солевого состава подземных вод. В полевых условиях не проводится определение свободных газов ( $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ) и отбор проб растворенных газов ( $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $O_2$  и др.), а также замеров окислительно-восстановительного потенциала.

Большие площадные размеры зон пластового окисления и значительная протяженность сопряженных с ними перспективных участков позволяют рекомендовать проведение геологосъемочных работ в м-бе 1 : 200 000 и 1 : 50 000 с ориентацией их на оценку перспектив районов

---

\* К площадям с неясными перспективами относятся участки, требующие проведения дополнительных исследований. Здесь предполагается существование зоны пластового окисления, однако: а) отсутствуют данные по гидродинамике и радиогидрогеологии пластовых вод, б) отсутствуют данные по геохимическим свойствам вмещающих отложений, в) отсутствуют сведения о глубинах залегания перспективного горизонта и т. д.

в отношении урановых месторождений инфильтрационного типа. Указанные масштабы обеспечивают достаточно надежную комплексность работ, которая в совокупности с поисковым бурением исключает возможность пропуска зон пластового окисления. Основной целью поисков при съемке в этих масштабах является выявление зон пластового окисления и предварительная оценка их рудоносности.

Для решения поставленных задач необходимо дополнительное составление серии карт — структурно-геологической, литолого-фациальных, радиогидрохимических и погоризонтных карт эпигенетических изменений.

При составлении специализированных геологических карт применительно к рассматриваемому типу урановых месторождений должны учитываться следующие требования.

На геологических картах должны быть показаны антиклинальные, блоковые и куполовидные структуры (желательно отразить также степень их раскрытости), разрывные нарушения и глубины залегания поверхности палеозойского фундамента. Карты должны сопровождаться большим числом разноориентированных литолого-геологических разрезов. Для получения всех необходимых данных желательно применение геофизических методов разведки (электро-, грави-, сейсмо-, магниторазведка). Для выяснения глубин залегания фундамента с успехом применяются гравиразведка и электроразведка. Выявление погребенных положительных структур в отложениях чехла проводится в основном комплексом сейсмических методов, а особенности состава пород фундамента определяются преимущественно методом магниторазведки.

Геологические карты должны сопровождаться составлением погоризонтных фациально-палеогеографических (для м-ба 1:200 000) и литолого-фациальных (для м-ба 1:50 000) карт с обязательным выделением на них областей развития красноцветных, пестроцветных и сероцветных глинистых, песчаных и грубообломочных пород. В пределах сероцветных отложений необходимо выделять разности пород, обогащенные органическим веществом углестого и нефтяного рядов, сульфидами и карбонатами. Указанные карты должны составляться для тех пачек пород, в разрезе которых установлено или можно предполагать наличие водопроницаемых горизонтов.

При геологической съемке необходимо составлять радиогидрохимические карты для отдельных водоносных горизонтов или комплексов. На эти карты следует выносить данные по химическому составу подземных вод, в том числе величины  $pH$  и окислительно-восстановительного потенциала ( $Eh$ ), содержание  $Fe^{+2}$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$  и  $O_2$ , а также сведения по динамике подземных вод — гидроизогипсы или гидроизопьезы, направление потоков подземных вод, области их питания и разгрузки. Все это позволит выделять участки возможного развития зон пластового окисления. На период полевых работ партии должны оснащаться походной лабораторией системы А. А. Резникова\* и потенциометрами типа ЛП-6; ЛПП-58, что позволяет непосредственно на водопункте получать данные по отдельным химическим элементам и газам ( $Fe$ ,  $O_2$ ,  $NO_2$ ,  $NH_4$ ,  $H_2S$ ), а также окислительно-восстановительному потенциалу ( $Eh$ ) и величине  $pH$ .

Геологосъемочные работы в районе предполагаемого развития инфильтрационных урановых месторождений должны сопровождаться, как правило, гамма-съемкой (пешеходной, автомобильной, воздушной) поверхности с составлением карты гамма-поля и отражением на ней выявленных гамма-аномалий и рудопоявлений урана, которые в ряде случаев являются прямыми поисковыми признаками инфильтрационного

\* Методика определения неустойчивых компонентов в полевых условиях изложена в руководствах А. А. Резникова и И. Ю. Соколова.

оруденения на глубине. Поиски в первую очередь следует сосредоточить на выходах потенциально перспективных осадочных комплексов, примыкающих к палеозойским массивам. В случае значительной мощности наносов постановка площадных радиометрических съемок нецелесообразна. Выбор рационального комплекса специальных геофизических методов может быть сделан после составления карты природных условий ведения поисков, которая отражает распространение, состав и мощность рыхлых четвертичных отложений, доступность района для автотранспорта и т. д. Составление такой карты по имеющимся данным перед началом полевых работ крайне желательно.

Одним из основных условий проведения специализированных геологосъемочных работ является составление погоризонтных карт эпигенетических изменений пород водоносных горизонтов, т. е. карт эпигенетической зональности (см. рис. 9 и 12). На эти карты сводятся все выявленные при специальном картировании эпигенетические изменения в пределах водоносного горизонта, из которых следует указать окисление пластовое и поверхностное, оглеение, ожелезнение, карбонатизацию, окремнение, огипсование, пиритизацию, битуминизацию. Составление этих карт невозможно без специальных поисково-съемочных буровых работ.

При выборе методики буровых работ следует учесть и тщательно проанализировать материалы всех геологических организаций по скважинам в пределах проектируемой площади. Однако опыт работ показывает, что, как правило, обычное геологическое описание скважин, не целенаправленное на выявление эпигенетических изменений в породе, мало чем может помочь при поисках инфильтрационного уранового оруденения. Поэтому буровые работы проводятся с целью получения необходимого геологического материала для составления комплекса перечисленных карт и, в первую очередь, для выявления зон пластового окисления. Скважина должна вскрывать все водоносные горизонты чехла осадочных отложений, находящиеся на глубинах, доступных для эксплуатации урановых месторождений. Профили буровых скважин располагаются вкрест направления предполагаемого потока, формирующего зону пластового окисления. На этом этапе подъем керна обязателен по всему разрезу. В случае установления зоны пластового окисления проводится оконтуривание области выклинивания и дается предварительная оценка ее рудоносности методом бурения по профилям, ориентированным вкрест предполагаемой линии выклинивания (второй этап). Густота сети скважин определяется размерами зоны пластового окисления.

Учитывая, что оруденение может располагаться в отрыве от современного положения границы зоны пластового окисления как в сторону пластово-окисленных, так и эпигенетически восстановленных пород, необходимо: а) детализировать области развития восстановленных пород за границей зоны пластового окисления на расстоянии 1—2 км одной—двумя скважинами на профиле; б) пересекать зону пластового окисления, развивающуюся по проницаемым отложениям со сложным литологическим составом пород, отдельными профилями со сгущением скважин на профиле до 1,6 и 0,8 км.

Учитывая, что оруденение может быть многоярусным, развивающимся по нескольким водоносным горизонтам и границы областей выклинивания зон пластового окисления в более молодых отложениях удалены, как правило, на большие расстояния от областей питания, буровые работы на первом этапе следует развивать по направлению потока до подсечения границы выклинивания зоны пластового окисления в верхнем водоносном горизонте, которая может быть удалена от области питания (палеозойских массивов) на расстояние более 30 км.

На всех этапах буровых работ продуктивный горизонт проходится с ограничением длины рейса, и выход керна по зоне ограничения дол-

жен быть не меньше 60—80%. При детализации в районах с простым структурным планом допускается бескерновое бурение перекрывающих продуктивный горизонт отложений до зоны ограничения с запасом не менее 30—50 м. В случае подсечения оруденения в продуктивном горизонте обязательна проходка нескольких скважин с тщательным описанием и отбором каменного материала по перекрывающим горизонтам с целью выяснения их горно-технических условий (обводненность, загазованность, крепость пород и т. д.). Скорость опускания гильзы через рудный интервал при гамма-каротаже должна исключать возможность пропуска даже небольших повышений гамма-активности, в 3—4 раза превышающих натуральный фон.

Особое внимание при документации керна уделяется эпигенетическим изменениям и минеральным новообразованиям (пиритизация, карбонатизация, окремнение и т. д.), а также различным формам нахождения железа и цветовой характеристике пород, по которой можно установить в первом приближении конкретную эпигенетическую зону.

Составление полноценной карты эпигенетической зональности требует проведения комплекса геохимических исследований. Он включает: 1) количественную оценку окисленности (восстановленности) пород — определение  $C_{орг}$ , фазовый анализ железа; 2) определение элементов, накапливающихся на геохимическом барьере, и выяснение областей (зон и подзон) их выноса методом качественного и количественного спектрального анализа и другими методами, в частности, необходимо проводить определения селена методом полуколичественного анализа (по Е. З. Бурьяновой); 3) химико-битуминологические исследования — определение количества и типов битума, степени его окисленности, наличия твердых битумов и их ураноносности, выяснение закономерностей распределения битумов в эпигенетических зонах.

Карты эпигенетических изменений строятся по данным эпигенетических профилей для каждого водоносного горизонта, в пределах которого развивается зона пластового окисления. Эти карты суммируют данные об эпигенетическом процессе и являются основой для поисковых работ. Как правило, карта эпигенетической зональности (она же прогнозная) строится на литолого-фациальной основе с нанесением основных данных по структурам, радиогидрохимии и гидродинамике. Одними из главных элементов карты являются эпигенетические зоны, выделенные на основании анализа всех эпигенетических изменений в породах. На картах выделяются области мобилизации и накопления отдельных элементов — урана, селена, молибдена и др., предполагаемая зона накопления урановых руд, которая и детализируется в процессе дальнейших поисково-разведочных работ.

Проведение предлагаемых исследований позволит уже на этапе комплексной мелко-среднемасштабной геологической съемки производить оценку перспектив обширных территорий на выявление инфильтрационных урановых месторождений.

### **ЭКЗОДИАГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕЧНЫХ ДОЛИН**

Примеры известных месторождений в аллювиальных отложениях четвертичных и современных долин сравнительно немногочисленны. Но изучение условий их образования позволяет предполагать, что в определенной геологической, геоморфологической и климатической обстановке месторождения этого типа могут иметь широкое распространение. Это обстоятельство определяет необходимость дать краткую характеристику геологических, геоморфологических, палеогеографических и радиогидрогеологических условий проявления известных месторождений.

Характеристика месторождений этого типа дается на основании их изучения в районах, где в фундаменте широко развиты граниты. В одном из этих районов, с наиболее изученным генезисом оруденения, в настоящее время, вследствие процессов эрозии и химического выщелачивания кислородными водами, рудные залежи в древнететвертичных отложениях, находящиеся на небольшой глубине от уровня грунтовых вод, сохранились лишь на относительно небольшом протяжении речной долины. Однако геологические исследования показывают, что частично эродированные и выщелоченные рудопроявления, а местами и отдельные рудные залежи сохранились и распространены в долинах с большими перерывами в соответствующей геолого-геоморфологической зоне меридионального простирания на протяжении нескольких сотен километров.

Месторождения имеют экзодиagenетический генезис и залегают в аллювиальных или озерно-болотных долинных отложениях. Для месторождений урана данного типа перспективными являются сероцветные песчано-глинистые и глинистые аллювиальные отложения. Ураноносный аллювий древнететвертичного возраста залегает на дне глубоко врезанных и захороненных более молодыми четвертичными отложениями долин, где создавалась восстановительная среда.

Аллювиальные ураноносные отложения характеризуются первично серым, темно-серым до черного цветом, вследствие обильной примеси тонкораспыленного органического вещества и заметной примеси дисульфидов железа. Последние, вероятно, вместе с органикой играли (в виде иона  $HS^+$ ) большую роль при осаждении урана из водных растворов и сохранились со времени формирования. Однако в новейшее геологическое время наблюдается проникновение в продуктивный горизонт, главным образом в его верхнюю часть, кислородных грунтовых вод и в связи с этим активное переотложение урана. Оно выражается главным образом в выносе металла из верхних горизонтов и отложении его в нижних, в восстановительной обстановке, а также в возникновении обедненных зон по водоносным песчаным горизонтам с выносом из них урана и отложением его в прилегающих горизонтах глин. Перераспределение урана в рудных залежах происходило в интервале от 2000 до 25 000 лет назад и наблюдается в настоящее время. На дополнительное обогащение продуктивных горизонтов за счет притока ураноносных вод с бортов долин указывает неоднократно отмеченный факт повышения содержания урана в боковых частях залежей, сложенных глинистыми отложениями.

Песчаники продуктивной толщи имеют полимиктовый кварц-полевошпатовый состав, представляя собой преимущественно продукты разрушения гранитов и гнейсов, и содержат глинистый цемент. Глинистый же материал характеризуется обилием органического вещества и дисульфидов железа. Определение минерального состава глин указывает на принадлежность их к бейделлитовой и частью монтмориллонитовой группам глинистых минералов, обладающих высокой сорбционной способностью. Эти отложения энергично сорбируют как уран, так и другие металлы. Ураноносными являются главным образом отложения старичных, старично-озерно-болотных и частью плесовых фаций. Мощное накопление подобных отложений наблюдается на расширенных участках речных долин, подпруженных снизу тектоническим или литологическим порогом. На эродированных суженных участках долин накопления урана не происходит.

Район представляет собой сильно пенепленизированную складчатую область с относительными превышениями в несколько десятков метров и характеризуется глубоким проникновением в коренные породы процессов выветривания. Долины рек имеют сравнительно неглубокий врез и асимметричное строение. Их солцепечный склон скалистый и подмывается рекой. На тневом склоне, пологом и широком, развиты отложе-

ния двух-трех аллювиальных террас и делювиальные отложения. Наиболее развита вторая надпойменная терраса, высотой от 3—4 до 6—8 м при ширине до 1 км и более. Продуктивными являются сероцветные отложения второй надпойменной террасы на участках переуглубленных долин. В момент формирования отложений район представлял холмистый пенеплен с лесистыми водоразделами, а расширенные долины характеризовались степным ландшафтом с обильными старицами, озерами и болотами на подпруженных участках. Формирование ураноносных отложений происходило в межледниковый период, предшествовавший максимальному оледенению.

Отложения второй террасы расчленяются на три разновозрастных горизонта.

Нижний, ураноносный горизонт сероцветного аллювия с большим развитием пойменных, озерных и болотных фаций, отвечает полному эрозионному циклу, которому предшествовали довольно значительные (первые десятки метров) неотектонические дифференциальные движения, вызвавшие образования тектонического порога и подпруживание долин ниже района развития продуктивных отложений, а также ряд переломов в профиле долин с образованием неравновесных участков. Отложения этого эрозионного цикла начинаются галечниковыми и песчанистыми осадками и заканчиваются пойменными озерными и болотными отложениями стареющих долин. Отложения горизонта характеризуются в общем восстановительной средой.

Средний, «пестроцветный» горизонт также представляет комплекс отложений более молодого эрозионного цикла. Отложения горизонта характеризуются окислительной обстановкой и практически не ураноносны. На поверхности горизонта наблюдаются следы многолетней мерзлоты, так называемые «ледниковые клинья», «котлы кипения», отвечающие времени температурного минимума эпохи максимального оледенения. Промерзание грунтов после их отложения, прекратившее циркуляцию подземных вод, имело большое значение. Оно создало предохранительную покрывку, препятствовавшую проникновению в отложения кислородных ураносодержащих грунтовых вод. Наоборот, оттаивание грунтов после последнего оледенения вызвало энергичное переотложение урана в сероцветных отложениях.

Третий, верхний горизонт представлен буроцветными глинистыми делювиальными отложениями.

Общая мощность отложений второй надпойменной террасы достигает 20 м, причем большая их часть залегает ниже уровня современных долин. Глубина залегания ураноносного горизонта от поверхности достигает 10 м и, как правило, находится ниже уровня современных рек. Таким образом, ураноносные сероцветные отложения относятся к пойменным, озерным и болотным фациям медленно текущих и застойных рек.

В рудах ниже уровня грунтовых вод преобладающее количество урана находится в виде тонкораспыленных черней в глинистом материале, по-видимому, присутствуют также уранорганические соединения. Наряду с этим наблюдаются отложения урана в виде черней и смолки на марказите и пирите, а также на псевдоморфозах указанных минералов по растительным остаткам. Отмечаются мелкие конкреционные выделения урановой смолки. Проникновение кислородных вод вызывает образование комплексных соединений шестивалентного урана. Наблюдается также концентрация урана вместе с окислами железа и марганца в торфяно-болотных отложениях на поверхности террас, а также в отложениях высоких террас и в делювии.

Первоначально район развития месторождений урана в древнеаллювиальных отложениях речных долин привлек к себе внимание высоким

содержанием урана в подземных водах и в водах текучих рек, достигавших значений, наблюдавшихся только в районах развития уранового оруденения. Это послужило основанием для постановки детальных (м-ба 1 : 25 000) поисков. Последние привели к открытию участков ураноносного аллювия на размытой поверхности вторых террас, а чаще — остаточных радиевых ореолов в размытых песчано-глинистых отложениях второй террасы.

Выяснение общих геологических и геоморфологических условий образования этих месторождений позволило значительно сократить цикл поисковых работ и придать им более целеустремленный характер. Так, именно в зоне предполагаемого по общегеологическим и геоморфологическим данным распространения благоприятного типа аллювиальных отложений поиски начинались прямо с геолого-геоморфологического обследования речных долин, в результате которого на них выделялись участки для поискового бурения.

При оценке перспектив ураноносности долинных отложений необходимо учитывать следующие факторы.

Питание ураноносных аллювиальных, а также делювиальных и элювиальных отложений, вероятно, происходило за счет выщелачивания урана как из гранитов и других ураноносных пород, так и из урановых гидротермальных и других типов проявлений, в частности, залегающих в зонах тектонических нарушений. В области питания подземных вод широко развиты граниты, причем речные отложения ураноносны только на участках развития гранитов, которые относительно обогащены ураном и часто содержат его в легко растворимой форме.

Содержание урана в гранитах в районе одного из месторождений в аллювиальных отложениях  $10-22 \cdot 10^{-4}\%$ . Доля растворимого урана составляет 24—42% от общего его содержания, увеличиваясь до 50—80% в пределах тектонических нарушений и гидротермально измененных пород, включающих гидротермальные рудопроявления урана сульфидно-смолового и, более распространенные и протяженные, уранинитового состава. Последние локализуются в зонах расщелачивания, где спутниками урана являются Cu, Mo, Ni, Co. Наибольшее значение для питания месторождений в долинах четвертичных рек, вероятно, имело развитие в тектонических зонах пегматоидных гранитов, содержащих уран в количествах, в несколько раз превышающих кларк. Указанием на существенное участие в формировании месторождений рассматриваемого типа урана, выщелоченного из минерализованных тектонических зон и пегматоидных гранитов, является постоянное присутствие в ураноносных отложениях элементов, обычно сопутствующих урану в эндогенных месторождениях — Mo, Cu, Ni, Co, Zn, местами редких земель, а также локальная приуроченность наиболее крупных концентраций урана в аллювии к зонам развития пегматоидных ураноносных гранитов.

Исследования показывают, что в современных водоемах с урансодержащими водами ( $n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-3}$  г/л) верхний слой илов либо вовсе лишен урана, либо содержит незначительные его концентрации (менее  $5 \cdot 10^{-5}\%$ ). Уран появляется в осадках на некоторой глубине в связи с изменением окислительной среды на нейтральную или слабо восстановительную. Он высаживается различными восстановителями и поглопителями (органическое вещество, сульфиды, кости млекопитающих, песчинки полевых шпатов, бейделлитовые и монтмориллонитовые глины) из вод в очень раннюю стадию формирования осадков. Эти месторождения подвергались дальнейшему изменению, вследствие проникновения в осадки окислительных грунтовых вод. В общем направление этих изменений сводится к выщелачиванию урана из верхних горизонтов и отложению его в нижних, к проявлению зон окисления по водоносным песчаным прослоям с отложением урана в прилегающих глинистых про-

слоях на восстановительном барьере и к дальнейшему обогащению залежей за счет поступления ураноносных вод с бортов долины.

Рудные залежи в плане представляют длинные рукава, приуроченные к содержащим осадители урана горизонтам, и вытянутые вдоль потоков подземных вод в сероцветных глинах, песчаных глинах и глинистых песках. Во всех случаях обогащенными ураном являются обводненные или обводнявшиеся отложения. Углистые глины характеризуются относительно пониженным, но более равномерным содержанием урана; песчаные отложения характеризуются менее выдержанным его содержанием, но к ним приурочены более богатые руды. Нередко максимальные концентрации наблюдаются на границе глин и песчаных прослоев, т. е. на контакте водопроницаемых и водоупорных слоев.

В современном и более древних эрозионных циклах концентрация урана наблюдается также в торфяно-болотных отложениях на террасах и водоразделах. Показательны, например, такие цифры: в илах современных рек с ураноносными водами содержание урана составляет менее 0,005%, а в болотах и болотных почвах — до 0,9%.

Для понимания условий образования месторождений в аллювиальных долинах немаловажное значение имеет факт нахождения инфильтрационных его рудопроявлений в карманах коры выветривания гранитов, биотитовых гнейсов и метаморфических сланцев, часто пространственно связанных с месторождениями урана в древнеаллювиальных отложениях. Последние нередко упираются в карманы коры выветривания. Такие карманы прослеживаются на глубину 3—10 и до 20 м от древней поверхности выравнивания, в них и располагаются линзообразные рудные тела, обычно протягивающиеся вдоль зон тектонических нарушений в гранитах. Зонам следуют и ураноносные речные долины, причем на участках, где долины покидают зоны разлома, нередко наблюдается уменьшение и даже прекращение ураноносности долинных отложений.

Благоприятными условиями для накопления отложений, содержащих поглощающий комплекс, являются сероцветные песчано-глинистые отложения переуглубленных и обычно расширенных участков долин, возникшие в период стабилизации тектонических движений и выравнивания продольного профиля речной долины в промежутке между эрозионными циклами. Отложения этих долин характеризуются восстановительной средой, в условиях которой уран, даже при низких его концентрациях в питающих водах ( $n \cdot 10^{-6}$  —  $n \cdot 10^{-5}$  г/л), осаждается на восстановительном пороге. Обычно ураноносный аллювий приурочен к переуглубленным долинам, возникающим в эпохи глубокого врезания. Эоплейстоценовый и раннеплейстоценовый эрозионные врезы на значительной территории являются наиболее глубокими. В некоторых случаях ураноносные сероцветные отложения относятся к среднему или среднему-нижнему плейстоцену, но врез долин является более древним, так как под сероцветными отложениями местами обнаружены остатки более древнего аллювия. Продолжительность наиболее раннего эрозионного цикла была более значительной, чем последующих, а питание ураном захороненных сероцветных отложений было более длительным. Длительность же процесса просачивания и медленной фильтрации ураносодержащих вод через отложения с восстановительной средой, очевидно, благоприятствовала образованию более крупных и богатых концентраций. В отложениях высоких цокольных террас концентраций урана не наблюдается.

Ураноносные отложения надпойменных террас уцелели от разрушения или в результате последующего опускания района месторождения, или в результате поднятия участков, расположенных ниже по руслу реки, с образованием тектонических порогов и подпруживания долины реки. При этом происходило постепенное захоронение надпойменных террас более молодыми осадками и в результате ураноносный аллювий

оказался расположенным ниже современного уровня рек. Это спасло ураноносный аллювий на многих участках от последующего размыва. В некоторых случаях благоприятным условием для сохранения оруденения является промерзание грунтов даже при сравнительно неглубоком их залегании.

Таким образом, поисковыми критериями месторождений урана в четвертичных аллювиальных отложениях являются следующие:

1. Область развития перспективных отложений — перигляциальная гумидная зона с умеренным климатом. По-видимому, наиболее благоприятны лесостепные условия. Области оледенения, предледниковые тундростепи, сухие степи, пустынные районы, районы с морозным выветриванием малоблагоприятны. Обстановка для горных районов недостаточно выяснена, однако можно считать, что благоприятные условия могли существовать в среднегорных районах со сглаженным рельефом и достаточно увлажненных.

2. Пенеplanation рельефа или его значительная сглаженность, благоприятствующая, наряду с климатом, преобладанию химических процессов выветривания горных пород над физическим.

3. Приуроченность рудных залежей к участкам переуглубленных, широко разработанных долин с мощным и длительным для этих образований периодом осадконакопления. Переуглубление долин создает устойчивую восстановительную обстановку, в которой и происходит отложение урана.

4. Образование рудных залежей за счет просачивания в отложения содержащих уран вод как сверху, так и с бортов долин и, возможно, снизу вдоль зон разломов. Относительно повышенное содержание урана в водах благоприятствует образованию месторождений. Рудные залежи, более бедные и более выдержанные, приурочены к глинистым прослоям, повышенное содержание урана наблюдается в более водопроницаемых песчаных прослоях или на границе их с водонепроницаемыми.

5. Питание аллювиальных отложений ураноносными водами при широком развитии в области питания подземных вод гранитов и, может быть, гнейсов. Питание аллювиальных отложений ураноносными водами может происходить как за счет растворимого урана гранитов, так и за счет мелких рудопоявлений и месторождений урана и рассеянной бедной минерализации. Роль такой минерализации (уран находится в легкорастворимой форме), по-видимому, существенна.

6. Частое расположение рудоносных участков долин вдоль тектонически нарушенных зон в гранитных массивах. Граниты таких зон содержат в 2—3 раза больше растворимого урана, чем ненарушенные.

7. Наличие надежной покрывки, препятствующей проникновению кислородных вод и предохраняющей рудные залежи от выщелачивания урана. При этом в благоприятных условиях происходит его переотложение в нижних водопроницаемых горизонтах в окисной форме. Такой покрывкой для месторождений является, например, слой длительно промерзавших грунтов, имевших широкое распространение в перигляциальной области, или мощные аллювиальные отложения нижней и более молодых террас. Иногда в глубоко захороненных отложениях с затрудненной циркуляцией вод наблюдается значительное окисление рудовмещающих горизонтов с сохранением урана в виде шестивалентных соединений.

Месторождения этого типа являются закрытыми, поэтому они обнаруживаются легче всего по водным ореолам рассеяния, а также методом глубинной эманацонной съемки.

Рекомендуется следующая последовательность работ:

1. Рекогносцировочные исследования: аэрогамма-съемка, радиогидрогеологическое опробование и уранометрическая съемка по методу донных осадков. Аэрогамма-съемку рекомендуется вести в м-бе 1 : 25 000.

В подходящих условиях она может быть заменена детальной автомобильной гамма-съемкой. При этом могут быть открыты аномалии над размытыми ураноносными пластами и остаточные радиевые ореолы на скульптурных террасах.

2. Площадные детальные исследования на основе геологической съемки; рекомендуется применение поверхностных гамма-измерений в шпурах и закопках, биогеохимические методы, причем следует выбирать деревья и растения с глубокой корневой системой, глубинные гамма-поиски с применением СУГП-10 и поиски бурением в долинных отложениях.

Таким образом, в комплекс специализированных геологосъемочных работ, ориентированных на выявление месторождений урана в аллювиальных отложениях долин, должны входить следующие работы:

1. Вертолетная или автомобильная гамма-съемка в м-бе 1 : 25 000—1 : 50 000 со сгущением маршрутов по долинным отложениям.

2. Специализированная геологическая съемка в м-бе 1 : 50 000 с изучением радиоактивности горных пород, содержания в них урана и форм его нахождения. В процессе съемки особое внимание должно быть уделено гранитным интрузиям с повышенным содержанием урана (в частности, пегматоидным гранитам). Одновременно необходимо выявлять системы разломов, в частности, системы разломов с карманами коры выветривания, часто фиксируемых по незначительным понижениям рельефа, признакам обводненности, характеру растительности, соевым выпотам.

3. Составление геоморфологической карты тех же масштабов и карты рыхлых отложений с одновременным геоморфологическим анализом истории развития рельефа и в особенности речных долин. Геологическую и геоморфологическую съемки рекомендуется вести с использованием данных аэрофотосъемки.

4. Радиогидрогеологические исследования с составлением радиогидрогеологической карты м-ба 1 : 50 000—1 : 100 000, имеющей важное значение для предварительной оценки перспектив ураноносности. Особенно важно изучение вод речных отложений и источников, вытекающих из террас.

5. Выделенные на основании геологических, геоморфологических и радиометрических работ участки долин необходимо обследовать с целью выявления ураноносного аллювия. Наиболее надежным, в большинстве случаев безошибочным, является метод разбуривания их рекогносцировочными профилями буровых скважин. Удовлетворительные результаты в поисковых целях дает не только колонковое, но и шнековое бурение. При установлении густоты поисковой сети скважин шнекового бурения следует иметь в виду особенности строения долин и размеры ожидаемых рудных залежей.

При небольшой глубине залегания ураноносных отложений или при наличии размытых террас может применяться глубинная эманационная съемка, гамма-съемка в шпурах и другие методы.

Если перспективность региона на ураноносные отложения четвертичных долин уже доказана и выявлены геологические и геоморфологические условия их локализации, экономически целесообразно сократить комплекс поисковых работ.

---

*Часть III*

Применение некоторых геологических,  
общих геофизических и геохимических  
методов при крупномасштабном  
специализированном геологическом  
картировании ураноносных районов

## ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ПОЗДНЕОРОГЕННЫХ ВУЛКАНОГЕННЫХ ФОРМАЦИЙ

В данном разделе на результатах многолетних личных исследований авторов, а также анализе опубликованных материалов изложены принципы и методы крупномасштабного специализированного геологического картирования вулканогенных формаций, образовавшихся в позднеорогенные стадии развития складчатых областей различного возраста.

Вопросы общего геологического и петрографического характера, входящие в методику изучения вулканогенных пород, изложены в инструкциях и методических руководствах ВСЕГЕИ (1954), ВИМСа (1955) и организаций Академии Наук (1960, 1962, 1967) и поэтому здесь не рассматриваются.

Для различных районов СССР установлена парагенетическая или генетическая связь месторождений урана, молибдена, олова, ртути, флюорита, свинца и др. с субвулканическими, жерловыми и гипабиссальными фациями. Определение критериев связи промышленных месторождений с вулканогенными и вулканогенно-интрузивными формациями и их фациями возможно только при детальном геологическом, петрографическом, геохимическом и геофизическом изучении их с составлением геологических, палеовулканических, геохимических и других карт. На основе полученных данных возможно научно обоснованное выделение локальных геологических структур для постановки детальных поисков промышленных месторождений, определение наиболее рационального комплекса методов поисков и выявление месторождений в относительно короткие сроки. Следовательно, специализированное геологическое картирование, базирующееся на комплексном формационно-фациальном изучении вулканогенных образований рудоносных районов, должно прежде всего способствовать существенному повышению эффективности поисковых работ.

В районах с развитием позднеорогенных вулканогенных формаций установлено, что отдельные палеовулканы развивались асинхронно и каждый из них характеризовался различной длительностью существования и специфическими особенностями магматизма и многообразными формами его проявления.

В областях палеовулканизма подтвердилось положение В. И. Влодавца (1941), установленное им для вулканов Камчатки, о том, что вулканы извергали одновременно лавы и пирокластический материал нередко различного состава, и вследствие этого нельзя воссоздавать историю развития вулканизма области только по характеру изменения состава магмы отдельных вулканов, потому что «... магмы одной области и одного возраста могут быть различными». Из этого следует, что ис-

пользование при геологическом картировании лишь данных литолого-стратиграфического расчленения вулканогенных образований приводит к грубым ошибкам в разработке стратиграфической схемы, а в связи с этим и в восстановлении истории развития вулканизма и форм его проявления.

Установление стратиграфической схемы затрудняется еще и тем, что вулканогенные образования в позднеорогенных приразломных прогибах вблизи каждого вулканического центра характеризуются обычно очень небольшой протяженностью лавовых потоков, резкими колебаниями гранулометрического и литологического состава туфов по простиранию. Выяснение соотношений между отдельными покровами и литологическими разновидностями вулканогенных пород обычно сильно затруднено резко меняющимися углами наклона, что, с одной стороны, зависит от степени расчлененности рельефа в период вулканизма, от положения пород на склоне вулканического конуса и, с другой стороны, от последующих тектонических дислокаций, а также от неоднородности развития синхронных покровов.

Иногда предпринимаются попытки разработать унифицированные стратиграфические схемы для субэаральных вулканогенных образований *отдельных отрезков геологического времени* на примере лишь немногих частных разрезов и рекомендовать эти схемы для руководства при геологическом картировании обширных районов. Исследователи, разрабатывающие такие схемы, исходят из предположения о том, что вулканические процессы на обширных площадях протекали более или менее синхронно, с равномерно направленной эволюцией в развитии магматизма и его продуктов. Такое предположение справедливо при условии существования в позднеорогенные стадии развития конкретных складчатых областей единого огромного магматического очага с одинаково направленной эволюцией химизма продуктов магматической деятельности. Однако такие представления не могут быть сколько-нибудь убедительно аргументированы и с теоретических позиций являются маловероятными.

Детальными исследованиями в палеовулканических областях установлено, что даже в одном и том же районе на площади в несколько тысяч квадратных километров существовало несколько крупных палеовулканических центров с различной длительностью и историей развития магматических процессов. Некоторые из этих палеовулканов периодически действовали с отчетливо выраженной ритмичностью на протяжении одной или нескольких геологических эпох. В результате их деятельности накопились мощные толщи эффузивных и пирокластических пород с закономерным изменением их состава от основных к кислым (вверх по разрезу), связанным с миграцией и дифференциацией магматического очага. Другие крупные эруптивные центры длительное время поставляли на поверхность лавы и пирокласты преимущественно кислого или основного состава. Третьи палеовулканы имели более короткий период активного существования (век или менее), причем возникали они в разное время и действовали асинхронно.

Различия в петрохимическом составе вулканогенных и комагматических с ними малоглубинных интрузивных образований на отдельных участках крупных вулканических поясов того или иного возраста зависят главным образом от относительной глубины размещения магматических очагов и особенно от состава вещества в зонах магнеобразования.

Одной из главных задач при детальном комплексном изучении геологического строения и истории развития районов с распространением субэаральных вулканогенных образований поздних стадий развития складчатых областей и в зонах тектоно-магматической активизации является выделение конкретных вулканогенных и вулканогенно-интрузивных комплексов, которые после детального их изучения и сопоставления

со сходными образованиями в тектоно-вулканических структурах близкого типа, могут быть отнесены к той или иной вулканогенной или вулканогенно-интрузивной формациям.

Под вулканогенными и вулканогенно-интрузивными формациями авторы понимают естественные ассоциации парагенетически взаимосвязанных и сближенных во времени вулканогенных и интрузивных пород, образовавшихся при определенном тектоническом режиме и выраженных различными фациями глубинности. Вулканогенные и вулканогенно-интрузивные формации всегда полифациальны.

В зонах распространения субаэральных вулканогенных образований одновременно с покровными разностями лав и туфов достаточно широко

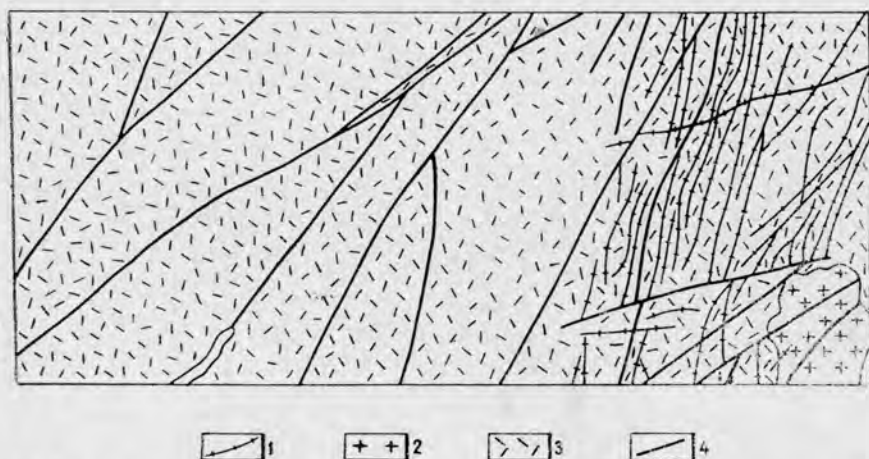


Рис. 13. Геологическая карта Центрального участка. Верхний и средний девон.

1 — дайки диабазовых и диоритовых порфиритов; 2 — граниты; 3 — кислые эффузивы; 4 — разрывные нарушения.

распространены жерловые фации вулканогенных пород, представленные эксплозивными брекчиями, лавобрекчиями, лавами и туфами, а также устанавливается большое количество разных по составу и разнообразных по форме субвулканических интрузий и экструзий.

При проведении геологических съемок в прошлые годы независимо от геологических условий в основу расчленения осадочных и вулканогенных отложений принимался стратиграфический принцип и среди субаэральных вулканогенных образований выделялись преимущественно только покровные разности, а жерловые, субвулканические и экструзивные фации, как правило, пропускались. Построенная по этому методу карта (схема) изображена на рис. 13, а на рис. 14 показана карта (схема) той же площади, составленная с применением фациального метода.

Лишь в последние годы вопросам формационного и фациального анализа при изучении вулканогенных образований стали придавать большое значение, что значительно ускорило темпы развития палеовулканологии и петрологии вообще, а также повысило эффективность поисковых работ на различные виды минерального сырья, ассоциирующего с вулканогенными и вулканогенно-интрузивными формациями. Однако нельзя не отметить, что до настоящего времени в существующих методических руководствах и инструкциях по геологической съемке (Инструкция... 1954, 1955а, 1955б, 1956, 1960) фациальному расчленению вулканогенных образований уделялось недостаточно внимания, а это, в свою очередь, неблагоприятно отражалось на развитии крупномасштабных геологосъемочных работ.

В процессе научно-исследовательских и геологосъемочных работ в рудоносных районах получены убедительные данные, подтверждающие,

что позднеорогенные вулканогенные формации включают не только жерловые, субвулканические и экструзивные фации, но также и малоглубинные (гипабиссальные) интрузии иногда достаточно крупных размеров, а также многочисленные группы даек, различающихся как по составу, так и по относительному времени образования.

На тесную парагенетическую связь вулканогенных и интрузивных образований единых магматических формаций обращает внимание в своей работе Ю. А. Кузнецов (1964). Им выделены две самостоятельные груп-

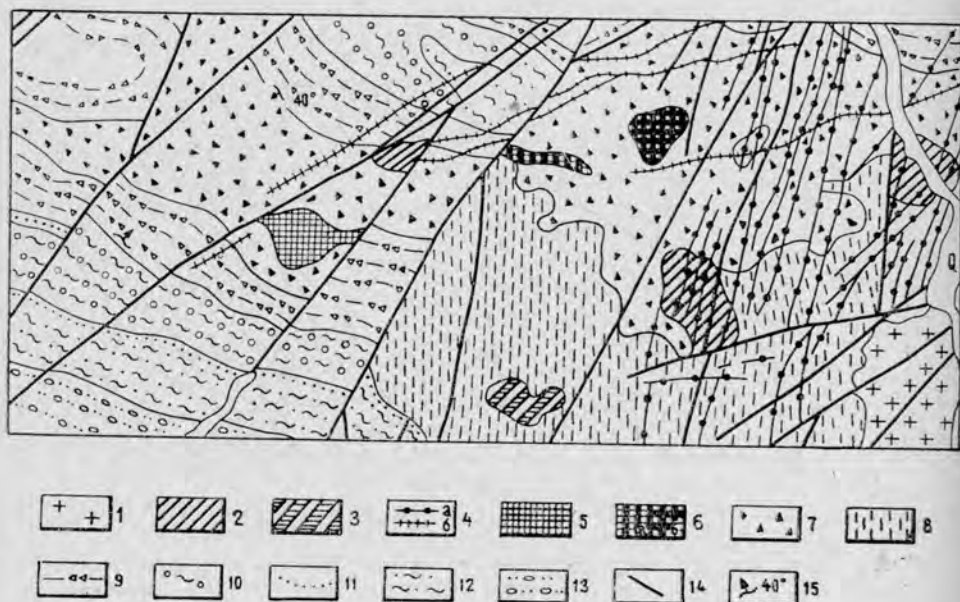


Рис. 14. Геологическая карта Центрального участка, составленная с применением формационно-фациального метода картирования вулканогенных образований. Верхний и средний девон.

Гипабиссальная малоглубинная фация: 1 — граниты. Субвулканическая приповерхностная фация: 2 — липаритовые порфиры; 3 — андезитовые порфиры; 4 — субвулканические дайки диабазовых и диоритовых порфиритов (а) и липаритовых порфиритов (б). Жерловая фация: 5 — липаритовые порфиры; 6 — экструзивные брекчии липаритовых порфиритов (а) и андезитовых порфиритов (б). Вулканическая наземная фация: 7 — игнимбритовые липаритовые порфиры; 8 — туфолавы липаритовых порфиритов; 9 — игнимбриты липарито-дацитовых порфиритов; 10 — лапиллиевые туфы липаритовых порфиритов; 11 — пузыристые флюидальные лавы липаритовых порфиритов; 12 — пепловые туфы липаритовых порфиритов; 13 — вулканомиктовые конгломераты; 14 — разрывные нарушения; 15 — пачкольное залегание флюиальности.

пы «эффузивных формаций» и «вулканогенных интрузивных формаций», которые близки по возрасту и обнаруживают «более или менее ясные признаки генетической связи». Представляется более последовательным две эти группы рассматривать в рамках единой полифациальной группы вулканогенно-интрузивных формаций.

Многообразие форм проявления и последовательность магматических процессов при образовании вулканогенных и вулканогенно-интрузивных формаций можно выяснить только при условии выделения и изучения фаций глубинности вулканогенных и парагенетически связанных с ними комагматических интрузивных образований. Это имеет непосредственное отношение к определению общих перспектив рудоносности и возможных мест локализации промышленных месторождений полезных ископаемых.

Следовательно, формационно-фациальный метод является главнейшим при крупномасштабном геологическом картировании позднеорогенных вулканогенных образований, в отличие от районов развития осадочных и осадочно-вулканогенных геосинклинальных отложений, где

основным методом их расчленения и изучения является литолого-стратиграфический в комплексе с формационно-фациальным.

Естественно, что при изучении и геологическом картировании позднеорогенных вулканогенных образований вопросам стратиграфического расчленения покровных фаций также должно уделяться внимание. Но этот метод не может иметь первостепенного значения и является подчиненным в общем комплексе работ.

В первую стадию изучения главное внимание должно быть обращено на фациальное расчленение вулканогенных образований на группы фаций, на выявление палеовулканов различного порядка и тектоно-вулканических структур. На второй стадии необходимо проводить детальное изучение палеовулканов, выделенных формационно-фациальным методом. Для этого рекомендуется составление большого количества радиальных геологических разрезов (по направлению от центра палеовулкана к периферии). При этом необходимо выделять жерловые фации, фации конусов и фации обрамления конусов.

Изучение палеовулканических центров должно быть направлено на выяснение типов их развития, отражающих преимущественно эффузивный, смешанный или эксплозивный характер вулканической деятельности. Основанием для выделения перечисленных типов служит эксплозивный индекс извержений. Тип вулканической деятельности также зависит от состава и физико-химических свойств магм, в частности, ее газонасыщенности, а также от глубины заложения магматических очагов и магмаподводящих разломов, состава и степени проницаемости кровли, формы канала и других причин.

Составленные геологические разрезы позволяют понять общий тип развития и своеобразие проявления вулканической деятельности каждого вулкана, их сходство и различие, а также установить палеофизико-географическую обстановку, интенсивность эксплозивного индекса, изменение состава лав и эволюции магматического раствора, тектонический режим и ритмичность в характере излияния лав и выбросов пирокластического материала.

Проведенные исследования вулканогенных формаций показали, что позднеорогенный вулканизм протекает в условиях активного тектонического режима. На связь вулканизма и тектоники указывают приуроченность вулканических центров к разломам, образование кальдер обрушения, вулcano-купольных и вулcano-депресссионных и кольцевых структур, вулcano-тектонических горстов и грабенов, а также кольцевых, дугообразных, радиальных и тангенциальных разломов.

Наиболее часто встречающиеся сложные по строению тектоно-вулканические структуры проседания с преимущественным падением пород к эруптивному центру, а также вулcano-купольные структуры нередко ошибочно рассматриваются соответственно как брахисинклинальные и брахиантисинклинальные складчатые структуры, с которыми они по истории формирования не имеют ничего общего. В ядрах вулcano-купольных структур обычно размещаются наиболее молодые вулканогенные образования, в то время как в брахиантисинклинальных структурах среди осадочных отложений наблюдаются обратные стратиграфические соотношения. Строение тектоно-вулканических структур проседания и брахисинклинальных структур также существенно различается. Если не учитывать такие различия и особенности истории формирования тектоно-вулканических структур, то можно впасть в грубую ошибку при оценке перспектив рудоносности и проведении поисковых и поисково-разведочных работ.

В процессе изучения конкретных тектоно-вулканических структур большое значение приобретает прослеживание и картирование различных типов разрывных нарушений, определяющих закономерности размещения латеральных вулканов, субвулканических приповерхностных ин-

трузий, экструзий, а также поясов и пучков даек, возникавших на различных стадиях вулканического процесса.

Особенности строения тектоно-вулканических структур, закономерности образования и пространственного размещения разрывных нарушений в их пределах определяют места возможной локализации промышленных месторождений полезных ископаемых.

На третьей стадии выделяются и объединяются в формации вулканогенные и вулканогенно-интрузивные комплексы. На основании частных разрезов, составленных при изучении палеовулканов и различных типов тектоно-вулканических структур, составляются стратиграфические разрезы, характеризующие последовательность формирования интрузивных, вулканогенных и подчиненных им континентальных осадочных образований, а затем методом стратиграфической корреляции, путем сопоставления этих разрезов разрабатывается сводная стратиграфическая схема для всего изучаемого палеовулканического района.

Основным методом крупномасштабного картирования вулканогенных и вулканогенно-интрузивных формаций является прослеживание по простиранию различных по составу, относительно возрасту, фациальным и генетическим признакам пород с обязательным графическим нанесением границ всех разновидностей на карту непосредственно в процессе съемки. Широко применяемый в практике метод пересечения площади параллельными маршрутами вкост простирания структур с последующим механическим соединением границ литологически однотипных пород в камеральных условиях следует признать методически неправильным. Как правило, карта, составленная по этому методу, не отражает особенностей строения вулканогенной формации и не может быть использована при проведении поисковых работ на уран.

#### ГРУППЫ ФАЦИЙ И ИХ ТИПЫ

Впервые предложенный М. А. Усовым (1915) фациальный метод изучения вулканогенных формаций основан на принципе установления глубинности образования вулканогенных пород с учетом формы их залегания.

Ю. А. Кузнецов (1964) несколько расширил и углубил предложенную М. А. Усовым схему выделения фаций, но принципиальные особенности их выделения остались прежними.

Под фацией нами понимается ассоциация магматических пород, образовавшихся при однотипных физико-химических и геологических условиях, определяемых глубиной формирования. При геологическом специализированном картировании целесообразно выделять следующие группы фаций: 1) вулканическая (эффузивно-пирокластическая) поверхностная; 2) экструзивная; 3) жерловая — с выходом на поверхность; 4) субвулканическая — приповерхностная; 5) гипабиссальная — малоглубинная.

#### *Группа вулканических поверхностных фаций*

При специализированном геологическом картировании необходимо выделять следующие подгруппы фаций: конусов (прижерловую), обрамления конусов и удаленную.

*Подгруппа фаций конусов (прижерловых).* К этой подгруппе мы относим наземные вулканические постройки — конуса. В палеовулканах они почти не сохраняются. Чаще приходится иметь дело лишь с их реликтами или переотложенными продуктами.

Если породы прижерловой фации сохраняются, они представлены крупнообломочными и глыбовыми туфовыми брекчиями, агглютинатами, агломератовыми лавовыми потоками, лахарами и др. С удалением от эруптивного центра наблюдается постепенное уменьшение размеров пи-

рокластического материала, что позволяет в ряде случаев установить нахождение палеовулкана.

*Подгруппа фаций обрамления конусов.* Эта подгруппа размещается вокруг палеовулканических центров как асимметрично, так и концентрически, что вызывается рядом факторов: направленностью извержения, характером склонов вулканов, миграцией жерловин и др. Состав и взаимоотношения пород указанной подгруппы достаточно сложные и обусловлены разнотипным и многофазным характером вулканической деятельности. Интенсивность и длительность проявления вулканизма каждого вулканического центра обычно различны. В зависимости от особенностей его развития могут преобладать либо эффузивная, либо эксплозивная деятельность. В некоторых изученных районах установлено, что в липаритовой формации преобладающими в составе пород фаций обрамления конусов являются различные типы пирокластических образований. На площадях развития пород этой подгруппы фаций широко распространены кольцевые и радиальные разломы, контролирующее размещение субвулканических интрузий и поясов даек, а также латеральных вулканических центров, продукты извержений которых, как правило, отличаются по вещественному составу от извержений терминального кратера.

Необходимо разделять картировать субфации потоков, брекчиевых лав, агглютинатов, игнимбритов, агломератов, лахар и покровов лапиллиевых и пепловых туфов, а также вулканокластических отложений кальдерных озер, сухих лавин и др.

*Субфации потоков брекчиевых лав.* Породы эффузивных субфаций распределены локально и представлены различными по составу и возрасту лавовыми потоками, характеризующимися собственно эффузивную стадию деятельности вулканов. Морфологические особенности лавовых потоков и их мощности часто зависят от форм древнего рельефа, синхронного с вулканизмом.

Лавовые потоки и покровы липаритовых и трахилипаритовых дациитовых порфиров и трахиандезитовых и андезитовых порфиритов в плане обычно имеют удлиненную, линзовидную или неправильные формы. Направление лавовых потоков, размеры их площадей и мощности обычно варьируют в широких пределах и зависят от большого количества факторов, как собственно эндогенных — мощность и продолжительность извержений, а также петрохимический состав и связанная с ним вязкость излившихся лав, так и экзогенных (геоморфологических) — форма и ширина лавопроводящих долин, углы наклона склонов и др.

Как правило, длина потоков лав кислого состава не превышает 3—5 км, мощность иногда находится в прямой зависимости от форм подстилающего рельефа и может колебаться от нескольких метров до 30—50 м. Размеры потоков андезитовых и андезито-базальтовых порфиритов значительно больше, чем кислых лав. По протяженности они часто прослеживаются на 15—18 км при мощности на отдельных участках до нескольких сот метров.

Распределение потоков вокруг палеовулканов неравномерное. Каждый последующий поток или покров может перекрывать предыдущий частично или полностью. Это необходимо учитывать при геологическом картировании и естественное выклинивание лавовых потоков не принимать за структурные несогласия или тектонические срезания.

Границы лавовых потоков бывают очень четкие, если они переслаиваются с осадочными либо пирокластическими породами другого состава. Значительно труднее устанавливаются границы между лавовыми потоками одинакового или близкого состава. В этом случае при их расчленении следует учитывать, что кровля лавовых потоков обычно характеризуется неоднородностью текстурных и структурных признаков, обусловленных застыванием лав в условиях движения. Наличие брек-

чий, сферических пузырей, трещин на поверхности потока, позднее выполненных лавой или пирокластическим материалом, является признаком кровли потока. На перерыв в вулканической деятельности указывает присутствие прослоев осадочных пород, представленных вулканомиктовыми песчаниками, чередующимися с гравелитами и конгломератами.

При геологическом картировании взрывчатых субфаций необходимо учитывать, что они могут распространяться как вблизи, так и вдали от взрывчатых центров. Расположение их почти не зависит от древнего рельефа. Расчленение и картирование вулканокластических и лавокластических пород сопряжено с большими трудностями из-за интенсивно проявленной раскристаллизации первичных структур. В исследованном районе пирокластические образования кислого состава раскристаллизованы в микропиклитовые, фельзитовые и иногда сферолитовые структуры и макроскопически большинство из них приобретает облик лав липаритовых порфиров. В практике геологосъемочных работ подобные образования часто относят к лавам.

*Субфация покровов агглютинатов.* Эти образования распространены в непосредственной близости от взрывчатых центров, часто в обрамлении экструзивных куполов. Формирование субфаций агглютинатов в изученном районе происходило в связи с вулканической деятельностью из линейных и центральных палеовулканов. Размеры сложенных агглютинатами площадей варьируют от 10 до 30 кв. км, мощность из различная — от нескольких десятков до первых сотен метров.

Агглютинаты легко спутать с покровами брекчиевых лав. Они отличаются от лав в исследуемом районе обилием разнообразных обломков, отсутствием пузырей в кровле и в основании покрова. Агглютинаты образовались в результате эксплозии пирокластического материала. Это массивные горные породы, отдельные обломки которых сплавлены друг с другом. Они подстилаются туфами или игнимбритами аналогичного состава, характеризуются очень пологими углами падения. По составу представлены липаритовыми, дацитовыми, трахилипаритовыми порфирами и реже трахиандезитовыми и андезитовыми порфиритами.

*Субфация покровов игнимбригов.* Характерной особенностью игнимбригов является их широкое развитие, что резко отличает эти образования от пород других субфаций. Площади распространения их бывают огромны — сотни и тысячи километров при мощности до 500 м. Морфология игнимбригов покровов очень сложна и иногда зависит от форм подстилающего рельефа. Максимальное накопление их отмечается в депрессиях, минимальное — на поднятиях.

Игнимбриги образовались при центральных и линейных извержениях в результате эксплозии огромной массы пирокластического материала в виде раскаленных туч. В особенно больших объемах они накапливались вокруг полигенных стратовулканов с кальдерной стадией развития. Соотношения игнимбригов с вмещающими породами различны: то они подстилаются и перекрываются туфами, то залегают на лавах или песчаниках. Контакты с вмещающими породами чаще резкие.

Характерной особенностью этих пород является псевдофлюидальная текстура. Основная масса — тонкообломочная (пепловая), как правило, такситовая.

*Субфация потоков алгомератов.* Породы этой субфации наиболее легко картируются в полевых условиях. Их отличительной особенностью является обилие крупнообломочного, в той или иной степени округлого вулканогенного материала. Алгомераты слагают потоки, протяженность которых достигает 15—20 км при мощности от 25 до 500 м. Размеры глыб и обломков в них по мере удаления от центров извержения постепенно уменьшаются. Степень окатанности вулканогенных пород также различна и возрастает в направлении от взрывчатого центра к перифе-

рии. Помимо обломков вулканогенных пород, агломераты обычно содержат посторонний кластический материал, захваченный при его движении. В ассоциации с агломератами постоянно присутствуют вулканомиктовые песчаники, гравелиты и алевролиты, а также горизонты и пачки туфов различного состава.

*Субфация лахаровых потоков.* Породы этой субфации картируются недостаточно четко и их можно спутать с агломератами, так как образования двух последних субфаций очень часто сближены пространственно. Главными отличительными особенностями лахар являются несортированность по величине обломков, различная ориентировка их длинных осей, а также совместное присутствие окатанного и угловатого материала. Лахары образуются из взрывов пирокластического материала, переотложенного грязевыми потоками, возникающими в результате прорыва озер, таяния снега и обильных ливней. В ряде случаев отложения этой субфации переходят по простираанию в вулканомиктовые конгломераты. Наряду с угловатыми обломками вулканического материала в лахарах часто отмечаются и округлые. Количество их может достигать иногда 50%. Лахаровые брекчии, в которых окатанных обломков меньше 50%, следует называть лахаровыми конгломерато-брекчиями, а если окатанных обломков больше 50% — лахаровыми брекчиями-конгломератами.

*Субфации покровов лапиллиевых и пепловых туфов.* Картирование пород этой фации облегчается, благодаря четко выраженному обломочному характеру пород. Пространственно эти отложения в большинстве случаев находятся в ассоциации как с агломератовыми туфами, так и лавовыми потоками. Наиболее характерным является чередование всех этих отложений. В лапиллиевых туфах часто отмечается ясно выраженная слоистость, обусловленная различной размерностью обломков. Пространственно эти породы приурочены к обрамлению палеовулканов центрального и линейного типов. Расстояние до места отложения этих пород от кратера зависит от интенсивности и направленности взрыва и частично от направления господствующих ветров в момент взрыва. Площадь распространения лапиллиевых и пепловых туфов колеблется в широких пределах и достигает первых сотен квадратных километров.

*Подгруппа удаленных фаций.* К этой подгруппе нами относятся покровы туфов и потоки лав, прямая связь которых с палеовулканами отсутствует. В состав ее входят мелкообломочные пирокластические и смешанные осадочно-пирокластические образования с подчиненными потоками лав преимущественно основного и среднего состава. Картирование их не представляет трудностей и к ним применимы обычные стратиграфические методы.

Среди пород подгруппы удаленных фаций нами выделяются субфации: покровов лапиллиевых и пепловых туфов, туффитов, туфоконгломератов, потоков лав и др.

### *Группа экструзивных фаций*

К этой группе фаций нами относятся купола, образующиеся в завершающие стадии деятельности палеовулканов в результате выжимания из канала вязкой лавы, сопровождаемой выбросами пирокластического материала.

Период, предшествовавший формированию экструзивных куполов, в исследованном районе характеризовался интенсивной вулканической деятельностью преимущественно эксплозивного типа, в процессе которой происходили вынос громадных количеств вулканических газов и расщипка жерл. В последующий период формировались экструзивные купола путем медленного выжимания вязкой, уже в значительной степени дегазированной магмы. Купола обрамлены потоками лав и покровами

агглютинатов, игнимбритов, туфов того же состава, причем степень спекаемости пород уменьшается по мере удаления от центра купола. Экструзивная группа фаций разделяется авторами на фацию ядра, выраженную куполами выжимания, и фацию обрамления, которые обычно связаны постепенными переходами между собою.

В пределах исследованного района экструзивные купола размещаются в палеовулканах центрального типа как с кальдерной, так и с бескальдерной стадиями развития, а также в линейных палеовулканах.

*Внутрикальдерные купола в стратовулканах.* Один из хорошо изученных экструзивных куполов расположен в пределах сложно построенного стратовулкана, прошедшего три

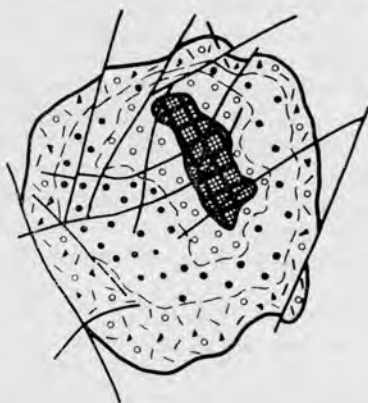


Рис. 15. Геологическая карта внутрикальдерной экструзии.

1 — гранит-порфиры; 2 — липаритовые порфиры; 3 — игнимбриты и агглютинаты липаритовых порфиров; 4 — туфы липаритовых порфиров; 5 — разрывные нарушения.

правлении форму, ее размеры  $4 \times 7$  км, сложена она гранит-порфирами, а периферическая часть липаритовыми порфирами. Резкая граница между этими породами отсутствует. Повсеместно наблюдаются постепенные переходы от гранит-порфиров к липаритовым порфирам.

Субфации обрамления размещаются на непосредственном продолжении от липаритовых порфиров. Они представлены игнимбритами и агглютинатами кварцевых порфиров. Ширина этой зоны составляет от 2,5 до 3 км. В плане она имеет извилистые неправильные контуры. Дальше от экструзивного купола игнимбриты сменяются туфами липаритовых порфиров. Среди последних отмечаются крупные обломки и глыбы пород фундамента, представленные преимущественно андезитовыми порфиритами, реже обломками лав липаритового состава. Границы между всеми вышеперечисленными субфациями проводятся условно. От экструзивного купола по направлению к периферическим субфациям отмечается закономерное уменьшение кристалличности пород и увеличение количества обломочного материала (рис. 15).

*Купола в палеовулканах бескальдерной стадии развития.* Эти купола имеют значительно более широкое распространение. В качестве примера приводится описание одного из наиболее характерных образований подобного типа того же района.

Вулканический аппарат имеет в плане изометричное строение с диаметром 15 км. В центральной его части размещается купол размером  $4 \times 5$  км, сложенный липаритовыми порфирами. По периферии его прослеживаются концентрически расположенные покровы лав и игнимбри-

татов стратовулкана, прошедшего три стадии развития. В первую стадию происходило формирование комплекса вулканогенных пород, создавшего наземный стратовулкан. На следующей стадии произошло образование палеокальдеры, представляющей собой многоступенчатую тектоно-вулканическую структуру проседания, сформировавшуюся на месте наземной вулканической постройки. И наконец, третья стадия развития — внедрение в кальдеру экструзивного купола.

Экструзивный купол размещается в пределах сложно построенной палеокальдеры, основание и борта которой сложены лавами и туфами липаритового и андезитового состава, чередующимися с прослоями вулканических песчаников. Центральная часть вулканического купола имеет в плане слегка удлиненную в северо-западном на-

тов липаритовых порфиров. Во внешнем обрамлении распространены крупнообломочные туфы того же состава. Ширина кольцевого выхода этих туфов более или менее постоянна и не превышает 2—3 км. Все породы, развитые по периферии экструзивного купола, имеют падение от центра.

*Экструзивные купола в линейных стратовулканах.* Линейный тип **экструзивных куполов** изучен в одном из районов среди пород андезитовой формации. Экструзия приурочена к глубинному разлому северо-западного простирания и прослеживается на протяжении 25 км при ширине 2—4,5 км (рис. 16). Контакты ее крутые и по данным структурной

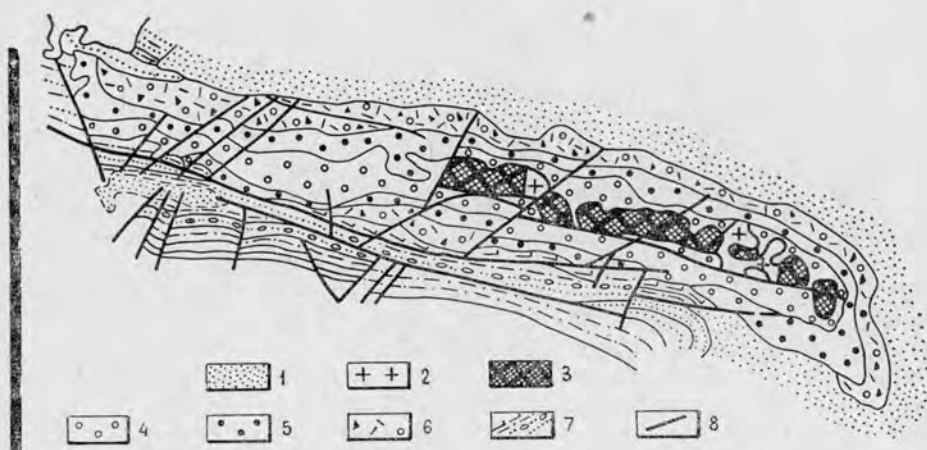


Рис. 16. Геологическая карта линейной экструзии.

1 — четвертичные отложения; 2 — граниты; 3 — гранит-порфиры; 4 — липаритовые порфиры; 5 — игнимбриты и агглютинаты липаритовых порфиров; 6 — туфы липаритовых порфиров; 7 — осадочно-вулканогенные породы андезитовой формации; 8 — разрывные нарушения.

геофизики прослеживаются без изменения на значительную глубину. Фация ядра выражена гранитами и гранит-порфирами, которые слагают тело протяженностью в северо-западном направлении 9,5 км при ширине от 0,7 до 1,5 км.

Купол обрамляется лавами липаритовых порфиров. Последние, в свою очередь, сменяются отложениями периферической субфации, представленными игнимбритами и агглютинатами липаритовых порфиров. Ширина выходов этих пород достигает 3—5 км. Периферические части обрамления слагаются туфами липаритовых порфиров. Эти вулканогенные образования прослеживаются широкой полосой в северо-западном направлении.

### Группа жерловых фаций

Эта группа фаций объединяет различные по составу и генетическим особенностям породы, выполняющие выводные каналы (жерла): массивные, флюидалные и пузыристые лавы липаритового, дацитового и андезитового состава, а также их туфы и эксплозивные брекчии. Форма округлая, эллипсоидальная или неправильная. В вертикальном разрезе размеры, направление и форма выводных каналов претерпевают изменения.

По-видимому, в связи с большой вязкостью остаточной магмы, жерла закрывались после значительной эксплозии или эффузии и приоткрывались вновь в каждую последующую фазу деятельности стратовулкана. Многократные прорывания жерл магматическими расплавами

и струями раскаленных газов, несущих обломочный материал, обусловили очень сложное строение жерловин.

На примере изученного авторами района дана группировка типов вулканических жерловин (некков). Несмотря на некоторую неполноту имеющихся данных, она может представлять как научный, так и практический интерес. Предлагаемая группировка выделяет типы жерловин по следующим признакам: 1) число фаз (моногенные и полигенные), 2) коэффициент эксплозивности (эксплозивные, эксплозивно-эффузивные и эффузивные), 3) состав (лавы, туфы, эксплозивные брекчии и др.), 4) условия залегания (жерловины с синхронными лавовыми туфо-

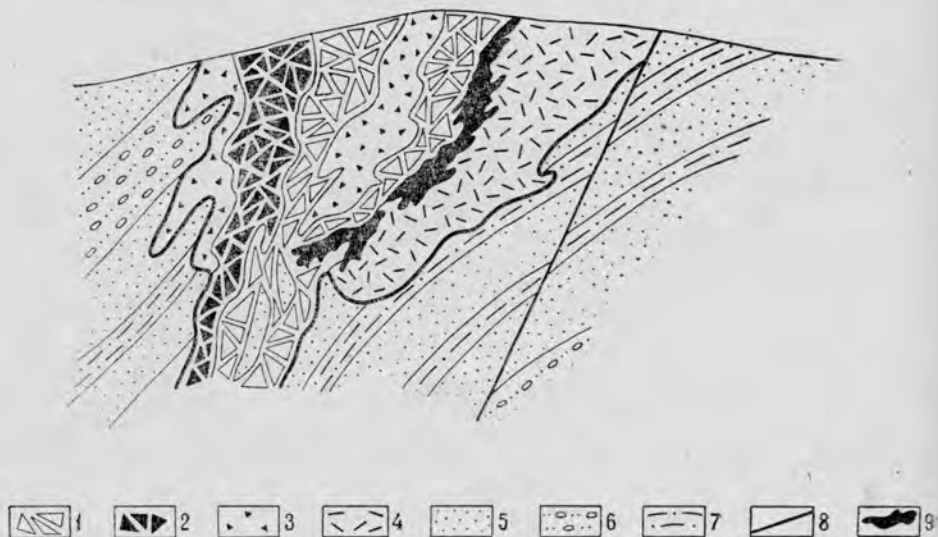


Рис. 17. Строение полигенной жерловины эффузивно-эксплозивного типа.

1 — эксплозивные брекчии липаритовых порфиров третьей фазы; 2 — то же второй фазы; 3 — то же первой фазы; 4 — тонкофлюидальные липаритовые порфиры; 5 — вулканомиктовые песчанники; 6 — вулканомиктовые конгломераты; 7 — алевролиты; 8 — разрывные нарушения; 9 — рудные тела.

выми покровами, жерловины без покровов и жерловины, перекрытые покровами), 5) форма жерловин.

*Полигенная жерловина эффузивно-эксплозивного типа.* Одна из таких жерловин приурочена к зоне глубинных разломов северо-западного простирания. Она размещается в породах молассовой формации, слагающих синклиналию складку, усложненную разломами (рис. 17). В горизонтальном сечении жерловина имеет линейно вытянутую форму. Ее размер в плане 80 на 900 м. Контакты с вмещающими породами местами тектонические. С глубиной диаметр жерловины быстро сокращается до 160—180 м. Строение жерловины резко асимметричное. Восточная часть сложена тонкофлюидальными липаритовыми порфирами, западная — эксплозивными брекчиями.

Среди эксплозивных брекчий по времени формирования устанавливаются три фазы, образования которых отличаются как размером, так составом и степенью округлости обломочного материала. Породы носят следы гидротермального изменения по типу березитизации. Рудные залежи локализовались преимущественно в контакте эксплозивных брекчий третьей фазы с тонкофлюидальными липаритовыми порфирами.

*Полигенная жерловина эксплозивно-эффузивного типа.* Жерловина в плане имеет округлую форму, ее диаметр 500—600 м. Центральная часть выполнена массивными липаритовыми порфирами, а краевые части — эксплозивными брекчиями. Граница между ними извилистая, эк-

сплозивные брекчии проникают в виде извилистых тел в бурые липаритовые порфиры. Ширина полосы эксплозивных брекчий колеблется от 10 до 20 м. Обломки угловатой формы, размером от 1 до 10 см, представлены в основном бурыми липаритовыми порфирами. Жерловина прорвана дайками фельзитовых, липаритовых, сферолитовых липаритовых порфиров. Урановое оруденение локализуется в верхней части жерловины.

*Полигенная жерловина эксплозивного типа.* Жерловина расположена в ядре синклинальной структуры, сложенной красноцветными терригенными отложениями. Морфологически жерловина представляет собой некк с симметричным строением. В плане он имеет овальную форму и вытянут с востока на запад, наибольшая длина его 405 м, ширина 300 м, сложен эксплозивными брекчиями дацитовых порфиров. Брекчии первой фазы слагают большую часть некка. Они представлены мелко-обломочными породами, состоящими из резко угловатых обломков, плотно прилегающих друг к другу. Для брекчий этой фазы характерен однородный состав обломков, состоящих из дацитовых порфиров. Эксплозивные брекчии второй фазы имеют с первыми отчетливо выраженный рвущий контакт. Они слагают преимущественно центральные части некка, но на более глубоком вертикальном срезе локализуются иногда и в его краевых частях. Отличительной особенностью этих брекчий является присутствие в них крупных обломков, реже глыб до 0,5 м, сложенных материалом как фундамента, так и стенок некка. Среди этих обломков и глыб встречаются андезитовые порфириты, граниты, реже песчаники и большое количество обломков дацитовых порфиров и их туфов. Цементом брекчий служит туфолава дацитовых порфиров с большим количеством кристаллокластов полевых шпатов. Породы некка несут следы гидротермального изменения, выраженного в окварцевании, флюоритизации и пиритизации. Урановое оруденение локализуется преимущественно в эксплозивных брекчиях второй фазы.

*Моногенная жерловина эксплозивного типа.* Жерловина образовалась при одноактном извержении латеральных эруптивных центров. Выделение ее в поле обычно не составляет затруднений, что обусловлено различием текстурно-структурных признаков слагающих ее пород и вмещающих толщ. Как правило, легко картируются крутые рвущие контакты. Размеры таких жерловин могут быть различными и колеблются от единиц — первых десятков до первых сотен метров. С поверхности они обычно имеют округлую (рис. 18), реже линейно вытянутую форму.

*Полигенная жерловина эффузивного типа.* Жерловина имеет сложное строение, обусловленное многостадийной деятельностью палеовулкана (рис. 19). Наиболее ранними по времени внедрения являются дацитовые порфиры, сохранившиеся в незначительных объемах лишь на отдельных участках краевых частей жерловины. Более поздними являются липарит-дацитовые порфиры, коренные выходы которых наблюдаются в северо-восточной части жерловины и приурочены как к центральной, так и к краевой ее частям. После периода затишья и частичного размыва вулканического сооружения произошло внедрение пузыристых лав липарит-дацитового состава, окончательно закупоривших жерло. Эти породы обнаруживаются в центральной части жерла и образуют лавовый покров протяженностью около 2,5 км при ширине до 0,5—0,7 км к юго-востоку от жерловины.

*Моногенные жерловины эффузивного типа.* Моногенные жерловины являются примерами одноактных эффузивных, либо эксплозивных извержений латеральных вулканических центров. В поле легко различаются жерловины, выполненные собственно лавовыми образованиями, часто переходящими в покровы (рис. 20). Размеры таких жерловин обычно не превышают 200—300 м в диаметре. Форма их часто округлая, реже встречается трещинный тип. Наиболее трудным в полевых усло-

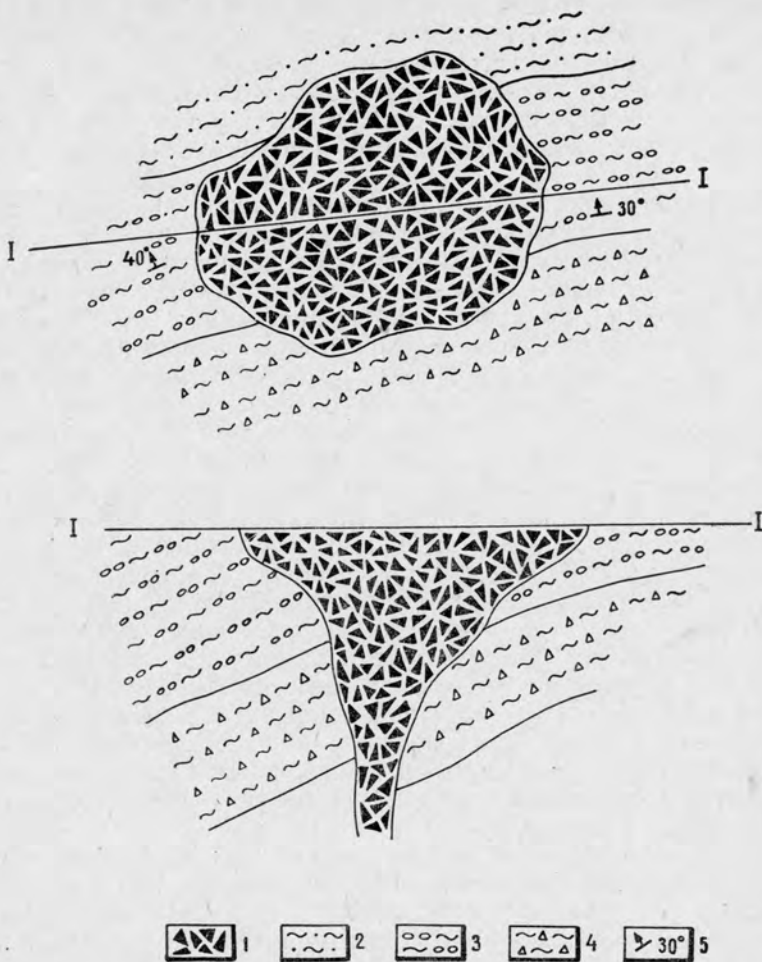


Рис. 18. Строение моногенной жерловины explosивного типа.  
 1 — explosive брекчи липаритовых порфиров; 2 — липаритовые порфиры; 3 — тонкофлюидальные липаритовые порфиры; 4 — лапиллиевые туфы липаритовых порфиров; 5 — элементы залегания.

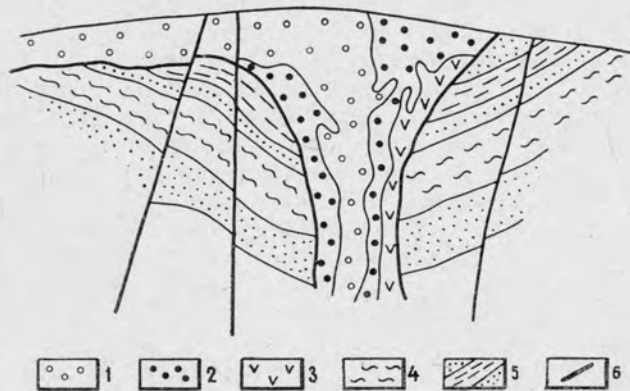


Рис. 19. Строение полигенной жерловины эффузивного типа.

1 — пузырьстые лавы липарито-дацитового состава; 2 — липарито-дацитовые порфиры; 3 — дацитовые порфиры; 4 — липаритовые порфиры; 5 — вулканогенные песчаники; 6 — тектонические нарушения.

виях является картирование зоны перехода лав, выполняющих жерловину, в лавовый поток, который в непосредственной близости от нее может иногда выполнять мульды значительной глубины. Основными методами выделения жерловин являются прослеживание рвущих контактов

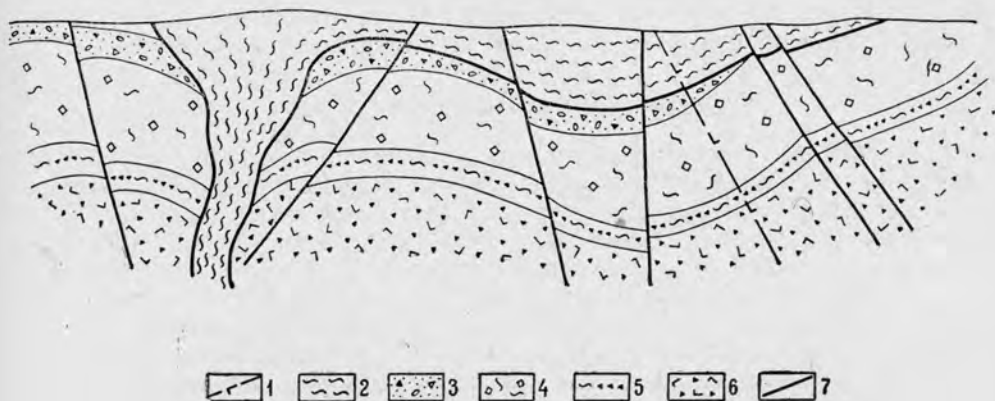


Рис. 20. Строение моногенной жерловины эффузивного типа

1 — дайки диоритовых порфиров; 2 — флюидалные липаритовые порфиры; 3 — вулканомиктовые конгломераты и переотложенные лахаровые брекчии; 4 — игнимбритовые липаритовые порфиры; 5 — агломеративные туфы липаритовых порфиров; 6 — туфы андезитовых порфиритов; 7 — разрывные нарушения.

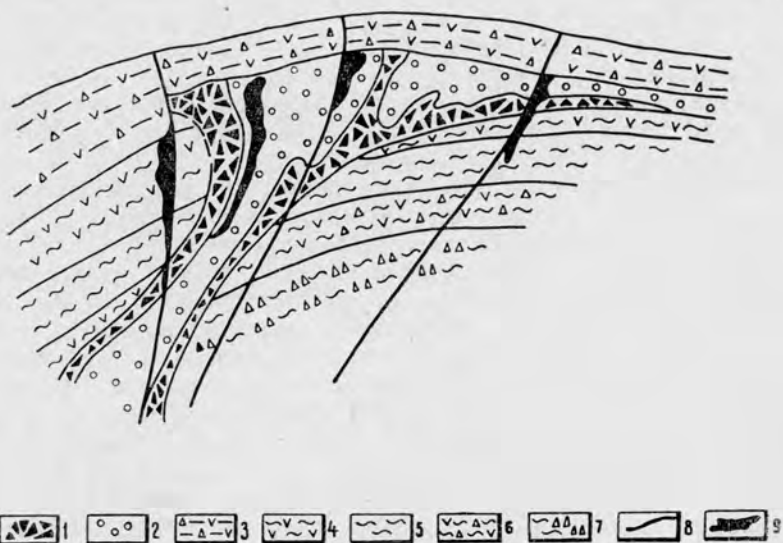


Рис. 21. Строение полигенной жерловины, перекрытой покровами туфов

1 — взрывные брекчии дацитовых порфиров; 2 — дацитовые порфиры; 3 — пепловые туфы дацитовых порфиров; 4 — флюидалные дацитовые порфиры; 5 — флюидалные липаритовые порфиры; 6 — липарито-дацитовые; 7 — лапиллевые туфы липарито-дацитовых порфиров; 8 — разрывные нарушения; 9 — рудные тела.

по простиранию и наблюдение за изменениями залегания восстающей флюидалности в лавах.

*Жерловины, перекрытые покровами лав и туфов.* Этот тип жерловин наиболее трудный для обнаружения. Их практическое выделение возможно только при проведении буровых работ в пределах перспективных участков. В то же время установлено, что в таких жерловинах часто локализуется урановое оруденение. На рис. 21 дан пример жерло-

вины, перекрытой туфами дацитовых порфиров. Жерловины имеют сложное многофазное строение. Промышленное урановое оруденение локализуется непосредственно в породах жерловины, преимущественно образуя столбообразные залежи на ослабленных контактах различных брекчий и дацитовых порфиров. Наряду с этим возможна его локализация в тектонических нарушениях, как непосредственно в пределах жерловины, так и вблизи от ее контактов во вмещающих породах.

### *Группа субвулканических фаций*

К субвулканическим фациям относятся приповерхностные интрузии эффузивного облика, образование которых тесно связано с вулканической деятельностью. Выделение субвулканических интрузий имеет большое значение, так как пространственно с ними часто связаны проявления промышленной рудной минерализации.

Формирование интрузий проходило на протяжении всей жизни вулканического центра, но максимально они проявились в поздние стадии его деятельности. Образованию пород этой группы фаций предшествовали интенсивные тектонические процессы, сопровождавшие вулканическую деятельность. Благодаря этим процессам периодически возникали камеры и полости отслоения, которые заполнялись дегазированной магмой. В этот период ее эксплозивный индекс резко понизился и она уже была не в состоянии прорвать «покрышку», несмотря на относительно малую ее мощность.

Субвулканические интрузии фаз вулканизма по своему составу полностью соответствуют предшествующим эффузивным или эксплозивным образованиям. Это позволяет проводить корреляцию между всеми продуктами деятельности каждой фазы вулканизма, включая сюда и субвулканические интрузии. Состав их так же, как и вулканической фации, в целом меняется от наиболее ранних интрузий к поздним, следуя общей закономерности развития вулканизма.

Субвулканические интрузии размещаются как в породах вулканической фации, так и в нижнем структурном ярусе. В обоих случаях они обычно располагаются недалеко от палеовулканов.

Группа фаций субвулканических интрузий может быть расчленена на субвулканические интрузии и субвулканические дайки. По составу среди них выделяются субвулканические интрузии липаритовых порфиров и андезитовых, андезито-базальтовых и дацитовых порфиритов.

*Субвулканические интрузии липаритовых порфиров.* Размещение субвулканических интрузий в породах липаритовой формации контролируется кольцевыми, дугообразными, радиальными и тангенциальными разломами, имеющими широкое развитие по периферии стратовулканов. Это во многом предопределяет условия локализации подобных интрузий, их формы и размеры. В зависимости от тектонической обстановки субвулканические интрузии могут иметь форму линейно-трещинных тел, штоков, лакколитов, пластовых залежей и даек. Количество таких интрузий в синхронной вулканической фации липаритовой формации ограничено и, как правило, не превышает 3—5% от общей площади выхода.

В одном из изученных авторами районов в северном обрамлении стратовулкана первого порядка со сложной историей развития прослеживается на 20—25 км дугообразный пояс субвулканических интрузий среди покровов и потоков лав и туфов кислого состава. Субвулканические интрузии сложены преимущественно гранофир-порфирами, реже кварцевыми порфирами. Это обычно линейно вытянутые тела длиной от 0,5 до 8 км при мощности 0,2—1 км (рис. 22). Наряду с субвулканическими интрузиями в пределах пояса встречаются дайки того же состава мощностью от 1 до 20—30 м и протяженностью обычно до 1—2 км. Характерной особенностью расположения субвулканических интрузий

и даек в пределах пояса является их приуроченность к дугообразным разломам, входящим в единую систему кольцевых нарушений, обрамляющих палеовулкан.

Контакты даек и субвулканических интрузий, как правило, резко секущие. Контактные воздействия на вмещающие породы проявлены слабо и представлены незначительным покраснением и окварцеванием пород на расстоянии не далее 1—2 см от контакта.

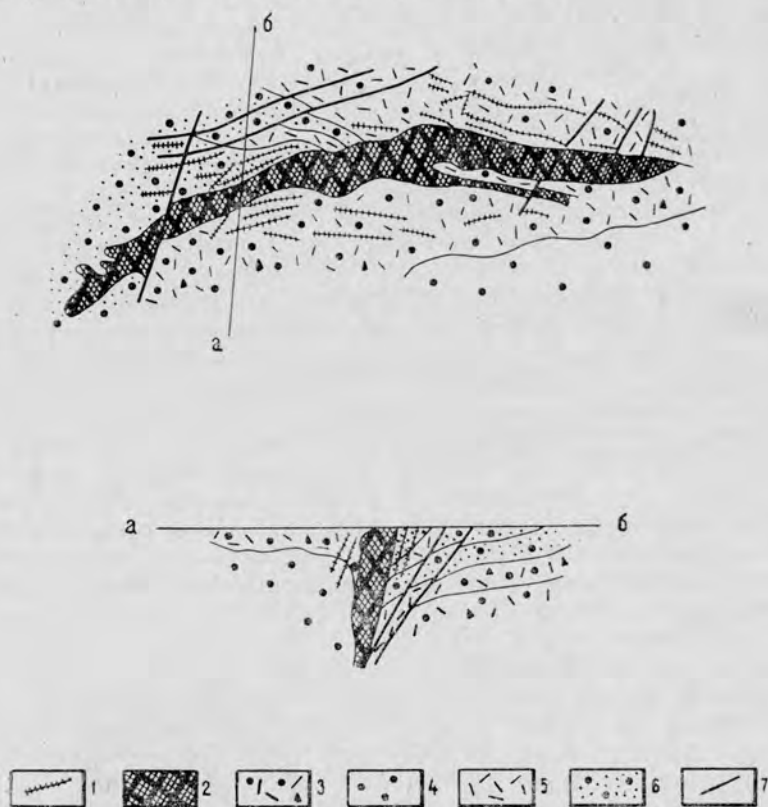


Рис. 22. Размещение субвулканических интрузий в вулканической фации.

1 — субвулканические дайки кварцевых порфиров; 2 — граниты; 3 — туфы кварцевых порфиров; 4 — игнимбриты кварцевых порфиров; 5 — фельзитовые порфиры; 6 — конгломераты и песчаники; 7 — разрывные нарушения.

Субвулканические интрузии кислого состава среди андезитовой фации, т. е. на более глубоком эрозионном срезе (0,5—1 км), составляют около 10% от общей площади (рис. 23).

В нижнем структурном ярусе количество субвулканических интрузий резко снизилось. Здесь преобладают отдельные сравнительно большие (3—5 кв. км) тела неправильной формы, выполняющие приповерхностные камеры вулканов. Иногда совместно с крупными субвулканическими интрузиями наблюдалась группа сравнительно малых тел. Так, в одном из участков в антиклинальной складке, ядро которой сложено песчаниками и конгломератами, а крылья — андезитовыми порфирами, были закартированы мелкие интрузии липаритовых порфиров, резко секущие складчатые структуры.

*Субвулканические интрузии среднего и основного состава.* К этой группе относятся субвулканические интрузии андезитового, андезито-базальтового и базальтового состава, формировавшиеся в разные этапы развития вулканических областей. Эти образования локализуются в по-

родах вулканической фации липаритовой и андезитовой формаций. Они представлены субпластовыми интрузиями и силлами, реже штоками и прослеживаются на 10—20, реже до 30 км при мощности до 0,5—7 км. Для них характерны выдержанность мощности на всем протяжении, однородность состава, а также структурных и текстурных признаков. Реже встречаются субвулканические интрузии, в которых наблюдается магматическая дифференциация от пород основного состава к более кислым.

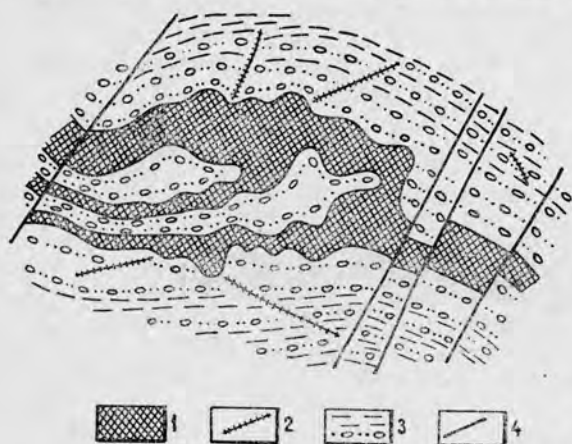


Рис. 23. Размещение субвулканических интрузий в подстилающих породах.

1 — субвулканические интрузии липаритовых порфиров; 2 — субвулканические дайки липаритовых порфиров; 3 — конгломераты и алевролиты; 4 — разрывные нарушения.

Субвулканические дайки являются наиболее трудными для изучения, но очень важными. Наибольшие трудности вызывает расчленение по возрасту серий даек, связанных с различными стадиями вулканизма. Из них сравнительно хорошо выделяются лишь дайковые пояса, которые размещаются вокруг палеовулканов центрального типа дугообразно, — они контролируются кольцевыми разломами, радиальными трещинами, веерообразно расходящимися от центра, а также разломами других направлений. Особенно сложным является распознавание даек конечных стадий вулканической деятельности от даек значительно более молодых, которые не связаны с вулканизмом, но размещаются также в пределах вулканогенных формаций. Неправильное определение возраста отдельных серий даек может привести к грубым ошибкам в установлении возраста оруденения. Для выяснения возраста даек необходимо проводить детальное картирование за пределами распространения образований вулканогенной формации и изучать там размещение дайковых пород для получения

Субвулканические интрузии основного состава обычно смяты вместе с вмещающими породами в пологие складки (рис. 24). Контактные изменения в таких интрузиях, как и в кислых, проявлены крайне слабо и выражены в незначительной эпидотизации и карбонатизации.

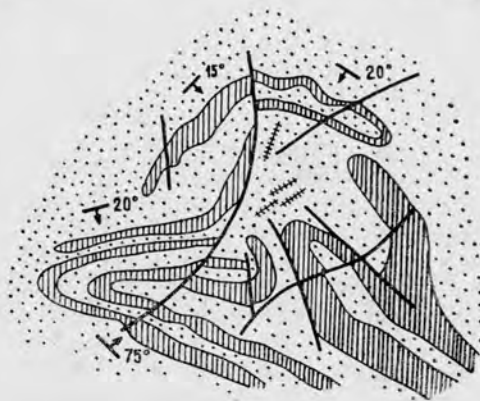


Рис. 24. Размещение субвулканических интрузий андезитового состава.

1 — дайки диабазов; 2 — силлы порфиров; 3 — терригенные отложения; 4 — разрывные нарушения; 5 — элементы залегания.

доказательств отсутствия связи их с вулканогенной формацией. На прямую связь даек с вулканогенной формацией могут указывать непосредственные переходы даек в субвулканические интрузии, распространение их только поблизости от палеовулканов, сходство петрохимического и геохимического состава и другие косвенные признаки.

В практике давно укоренилось представление, что все дайковые породы в районах месторождений обычно относятся к дорудным. Однако опыт работы показал, что это положение требует еще тщательной проверки, так как отдельные группы даек основного состава часто являются послерудными.

### *Группа гипабиссальных фаций*

Некоторые позднеорогенные магматические формации включают гипабиссальные малоглубинные интрузии, и вследствие этого они относятся к вулканогенно-интрузивным (диорито-андезитовая, сиенито-трахитовая, липарито-гранитовая и др.). Проявление сложных магматических формаций, включающих и гипабиссальные интрузивные образования, не является правилом. Пространственная близость вулканогенных и интрузивных образований даже сходного состава не всегда свидетельствует об их парагенетической взаимосвязи и комагматичности.

Главными критериями комагматичности вулканогенных и интрузивных образований, входящих в состав единых вулканогенно-интрузивных формаций, являются следующие: 1) приуроченность к одним и тем же структурам и, в частности, к периоду формирования одного и того же структурного яруса — между временем формирования вулканогенных и интрузивных пород не должно быть промежуточного структурного яруса; 2) вулканогенные и гипабиссальные образования должны иметь близкий петрохимический состав и характеризоваться более или менее одинаковыми ассоциациями элементов-примесей и нередко также акцессорных минералов.

Формирование гранитных массивов в одном из исследованных районов происходило в две фазы — главную и дополнительную. В главную фазу образовались лейкократовые граниты, среди которых выделяется значительное число разновидностей, различающихся в основном по структурным особенностям. В апикальных частях гранитных массивов, вследствие процессов ассимиляции вмещающих пород и контаминации магмы, наблюдаются переходы к гранодиоритам, граносиенитам, сиенито-диоритам, кварцевым сиенитам и габбро-диоритам. Эти разновидности являются гибридными и обычно распространены вблизи провесов кровли или больших скоплений ксенолитов, особенно вулканогенных пород андезитовой формации. В тех случаях, когда в краевых зонах массивов не наблюдается гибридных пород (чаще на участках, где массивы гранитов контактируют с вулканогенными породами кислого состава), характерен частый переход от гранитов одних разновидностей к другим (равномернозернистых к порфиридовидным, к мелкозернистым аплитовидным или пегматонидным).

Ко второй, дополнительной фазе внедрения относятся мелкозернистые аплитовидные и порфиридовидные лейкократовые граниты. Распространение этих гранитов незначительное, ими сложены небольшие по размерам тела. В тесной ассоциации с гранитами находятся многочисленные дайки, образующие протяженные пояса, пересекающие гранитные массивы и вмещающие их породы.

### *Разрывные и складчатые нарушения*

В локализации урановых месторождений особенно велико значение разрывных нарушений. Необходимо выделять и наносить на карту разновозрастные и разнотипные серии разломов. Глубинные разломы хо-

рошо прослеживаются в нижнем структурном ярусе и часто сопровождаются интенсивным дроблением и перетираем пород. По ним устанавливаются перемещения смежных блоков как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях. Глубинные разломы пересекают складчатые структуры фундамента и обычно далеко прослеживаются за пределами распространения вулканогенных формаций. Многие из этих разломов подновлены в период позднеорогенной магматической деятельности. К отдельным их участкам приурочены палеовулканы.

Особенно важным является выделение различных типов и относительно разновозрастных групп разломов, образование которых связывается с периодом позднеорогенной магматической деятельности. Среди них могут представлять большой интерес линейные, кольцевые, дугообразные, радиальные и тангенциальные нарушения, генетически связанные с формированием и развитием палеовулканов и тектоно-вулканических структур. Эти разломы имеют исключительно важное значение в локализации и контроле оруденения — к ним приурочены наиболее крупные промышленные урановые месторождения.

Выявление и картирование указанной группы разломов представляет большие трудности, так как они обычно выражены слабо и не сопровождаются зонами дробления, расщепления пород и могут быть установлены при тщательном картировании по ряду других признаков, например, кольцевое и дугообразное расположение субвулканических интрузий, дайковых поясов и пород жерловой фации (вулканические аппараты второго порядка).

Необходимо тщательно картировать пологопадающие межпластовые нарушения, прослеживающиеся преимущественно на границе пород различных горизонтов или внутри одного горизонта на контакте пород с разными физическими свойствами. По своим размерам межпластовые нарушения относятся к разрывам второго порядка. К ним сравнительно часто приурочены рудные тела.

Следует также выделять дизъюнктивные нарушения, которые образовались после периода формирования вулканогенной формации и усложняли ранее созданные структуры. Это протяженные разломы, нередко унаследованные, но частью заложенные вновь; во многих районах они неоднократно подновлялись особенно интенсивно в альпийское время.

### **МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ КАРТИРОВАНИИ ЗАКРЫТЫХ ПЛОЩАДЕЙ**

В ураноносных и перспективных на уран районах Союза поисковые работы все больше проводятся на площадях, в различной степени перекрытых чехлом рыхлых отложений. Поиски могут быть эффективны и экономически целесообразны лишь при условии проведения работ на локальных площадях, перспективы рудоносности которых достаточно обоснованы. Поэтому в практике поисковых работ на закрытых территориях решающее значение приобретает крупномасштабное специализированное картирование, как основа для выделения перспективных участков.

При составлении специализированных геологических и прогнозных карт в закрытых районах, наряду с геологическими и минералого-геохимическими исследованиями, большая роль отводится геофизическим методам в сочетании с картировочным и структурным бурением.

В данной главе, обобщающей опыт многолетних комплексных геолого-геофизических исследований при крупномасштабных геологических съемках в закрытых лесостепных районах, излагаются основные задачи,

принципы и особенности применения геофизических методов с учетом их специализированной направленности, в особенности на этапе интерпретации геофизических данных.

Рассмотренные ниже принципы и методы могут быть использованы для обоснования выбора площадей к поискам не только урановых, но и других руд.

Анализ данных, приведенных в табл. 5, показывает, что наиболее важные черты геологического строения, определяющие особенности раз-

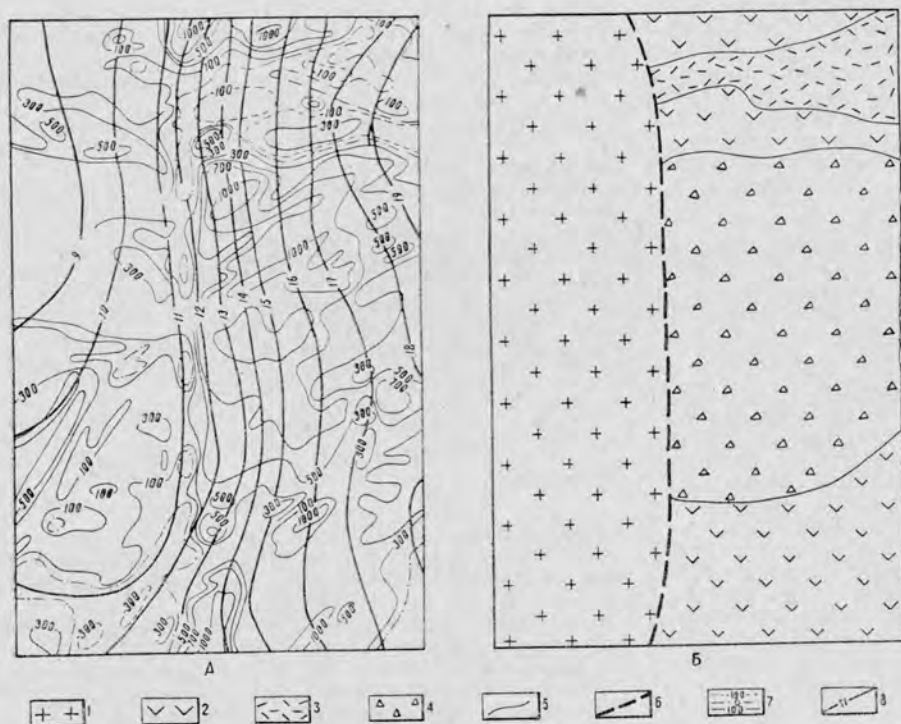


Рис. 25. Проявление в геофизических полях зоны глубинного разлома длительного развития, контролирующего размещение образований трахиандезито-диоритовой формации.

А — карта изодинам  $\Delta Z$  и изоаномал  $\Delta g$ ; Б — геологическая схема, построенная с учетом данных магнито- и гравразведки.

1 — граниты; 2 — порфириты; 3 — фельзиты; 4 — взрывные брекчии; 5 — контакты пород; 6 — тектоническая зона; 7 — изодинамы  $\Delta Z$ , 8 — изоаномалы  $\Delta g$ .

мещения пространственно связанных с трахиандезито-диоритовой формацией месторождений, проявляются определенным образом в физических полях. Среди последних по форме и интенсивности можно выделить несколько типов. Например, для приразломных прогибов, в пределах которых размещаются породы позднеорогенной вулканогенно-интрузивной формации и урановые месторождения, типичны магнитные поля, характеризующиеся переходом изометрических положительных аномалий различной интенсивности к низким спокойным значениям  $\Delta Z$  (рис. 25). По данным гравразведки такие прогибы выделяются повышенным горизонтальным градиентом поля силы тяжести.

Большое значение в локализации гидротермального уранового оруденения имеют вулканические аппараты центрального типа, которые отчетливо фиксируются характерными изометрическими положительными магнитными полями интенсивностью до 200—500 гамм (рис. 26). Если такого рода тектоно-вулканические структуры сложены породами сред-

Характер проявления в физических полях геологических факторов, контролирующих урановые месторождения, пространственно связанные с позднеорогенными вулканогенно-интрузивными формациями, методы их выявления и картирования  
(по данным Д. А. Горелова, А. Н. Еремеева, А. А. Шугина)

Рудоконтролирующие факторы	Характер геофизических полей	Методы выявления и картирования
<p>Позднеорогенные при-разломные прогибы с развитием наземных полифациальных вулканогенных вулканогенно-интрузивных формаций (трахиандезито-диоритовой, липаритовой, липарито-гранитовой)</p> <p>Зоны глубинных разломов длительного развития, контролирующие размещение крупных палеовулканов центрального и линейного типов:</p> <p>для периода формирования линейных вулканических центров андезитовой, трахиандезитовой и андезито-диоритовой полифациальных формаций:</p> <p>для периода формирования вулканических структур преимущественно центрального типа, липаритовой и липарито-гранитовой полифациальных формаций</p>	<p>а) линейные зоны резкого градиента силы тяжести, прослеживаемые на десятки километров;</p> <p>б) изометричные положительные аномалии силы тяжести;</p> <p>в) области сложного магнитного поля с резким градиентом значения <math>\Delta Z</math>;</p> <p>г) области сопряжения сложных линейновытянутых положительных магнитных аномалий различной интенсивности с изометричными низкими спокойными магнитными полями</p> <p>а) линейные области повышенного градиента силы тяжести;</p> <p>б) линейные положительные или знакопеременные магнитные аномалии;</p> <p>в) линии сдвига ряда параллельных магнитных аномалий в сложных знакопеременных магнитных полях;</p> <p>г) серия сближенных линейных аномалий <math>\rho_k</math>, характерных для маломощного пласта повышенной проводимости</p> <p>а) изометричные в плане положительные аномалии силы тяжести интенсивностью 0,5—1,0 мг;</p> <p>б) изометричные отрицательные магнитные аномалии, образующие в целом вытянутое знакопеременное магнитное поле</p> <p>в) серия сближенных линейных аномалий <math>\rho_k</math>, характерных для маломощного пласта повышенной проводимости, реже аномалии, характерные для высокоомных пластов малой мощности</p>	<p>а) структурно-формационный и фациальный анализ;</p> <p>б) гравиразведка м-ба 1: 200 000;</p> <p>в) аэромагнитная съемка м-ба 1: 100 000—1: 50 000</p> <p>а) структурно-формационный и фациальный анализ;</p> <p>б) гравиразведка м-ба 1: 50 000;</p> <p>в) наземные магнитные съемки м-ба 1: 50 000</p> <p>г) электропрофилирование СЭП и ДОП+СЭП м-ба 1: 200 000—1: 50 000;</p> <p>д) комплексные маршрутные геолого-геофизические исследования;</p> <p>е) картировочное и структурное бурение</p> <p>а) структурно-формационный и фациальный анализ;</p> <p>б) гравиразведка м-ба 1: 50 000;</p> <p>в) наземные магнитные съемки м-ба 1: 50 000;</p> <p>г) электропрофилирование СЭП и ДОП+СЭП м-ба 1: 200 000—1: 50 000;</p> <p>д) комплексные маршрутные геолого-геофизические исследования;</p> <p>е) картировочное и структурное бурение</p>

Рудоконтролирующие факторы	Характер геофизических полей	Методы выявления и картирования
<p>Области проявления длительных и многофазных магматических процессов с явлениями ритмичности и дифференциацией продуктов магматизма во времени</p>	<p>а) знакопеременные сложные магнитные поля с резким градиентом значений <math>\Delta Z</math>, линейно-вытянутые и изметричные магнитные аномалии; б) области максимальных значений <math>\rho_k</math> (при мощности рыхлых образований до 20 м)</p>	<p>а) структурно-петрологический анализ; б) наземные съемки м-ба 1 : 50 000—10 000 в) электропрофилирование СЭП и СЭП+ДОП м-ба 1 : 200 000—1 : 50 000; г) геолого-геофизические маршруты; д) картировочное бурение</p>
<p>Система разрывных нарушений различных порядков вблизи и в пределах границ нижних и верхнего (позднеорогенного) структурных ярусов</p>	<p>а) линии сдвига ряда параллельных аномалий <math>\Delta Z</math>, линейные границы характерных магнитных полей, линейные положительные или отрицательные магнитные аномалии, обусловленные залечивающими тектонические нарушения интрузивно-экструзивными телами и дайками различного состава; б) серии сближенных линейных аномалий <math>\rho_k</math>, характерных для маломощных пластов повышенной или пониженной проводимости</p>	<p>а) магниторазведка м-ба 1 : 25 000—1 : 10 000; б) электропрофилирование СЭП и СЭП+ДОП м-ба 1 : 100 000—1 : 50 000 в) картировочное бурение; г) структурный и фациальный анализ</p>
<p>Периферические части вулканотектонических структур трех типов: вулканические аппараты центрального типа с кальдерами обрушения и проседания; вулканокупольные структуры; линейные вулканические структуры</p>	<p>а) локальные положительные аномалии силы тяжести изометрической формы; б) локальные зоны повышенного горизонтального градиента силы тяжести; в) концентрические знакопеременные магнитные поля; г) сложные магнитные поля, состоящие из знакопеременных линейных аномалий <math>\Delta Z</math></p>	<p>а) гравиразведка м-ба 1 : 50 000—1 : 25 000; б) магнитные съемки м-ба 1 : 25 000—1 : 10 000; в) картировочное и структурное бурение; г) детальные структурные и петрохимические исследования</p>
<p>Изометричные участки и линейные зоны интенсивного развития процессов кислотного выщелачивания с явлениями зональности вблизи главных вулканических центров и основных систем разрывных структур</p>	<p>а) изометричные и линейные аномальные участки, характеризующиеся понижением магнитного поля; б) положительные аномалии <math>\rho_k</math> над участками и зонами интенсивного окварцевания; в) минимумы <math>\rho_k</math> в зонах интенсивного развития процессов выветривания гидротермально измененных пород</p>	<p>а) наземные магнитные съемки масштаба 1 : 25 000—1 : 10 000 б) электропрофилирование СЭП и СЭП+ДОП м-ба 1 : 50 000—1 : 25 000; в) минералого-петрографические исследования</p>

ней основности, то в гравитационном поле они проявляются наличием локальных аномалий силы тяжести (рис. 26).

Рудоконтролирующие и рудовмещающие разрывные нарушения, часто поперечные по отношению к простиранию горных пород, отмечаются в магнитном поле смещением аномалий и изгибом изолиний  $\Delta Z$ , по величине которых можно примерно определить амплитуду горизонтального перемещения отдельных блоков пород (рис. 27).

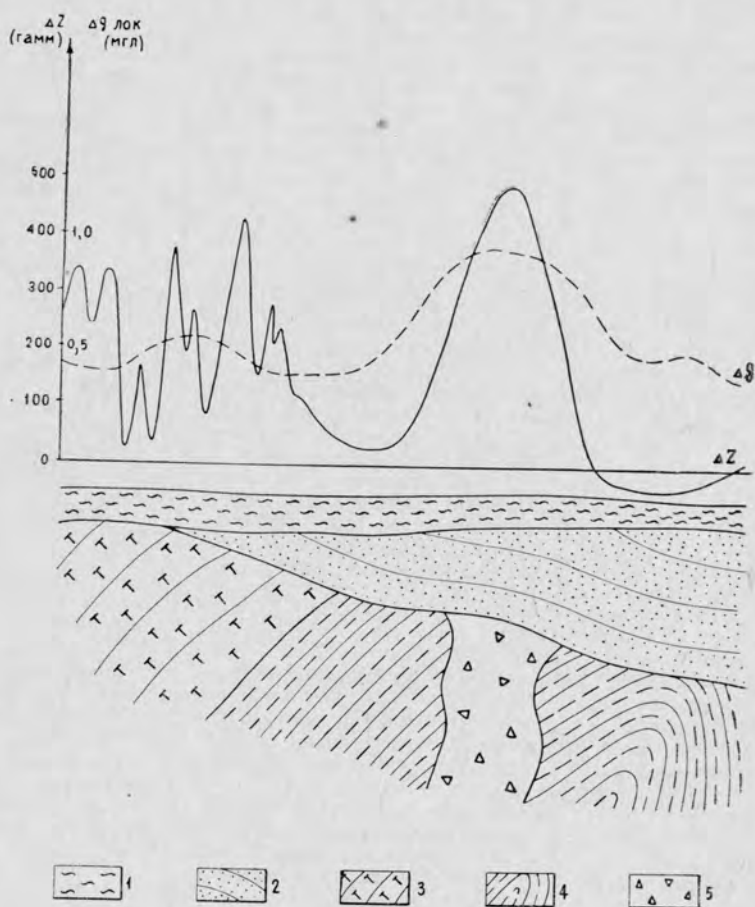


Рис. 26. Выделение вулканических аппаратов по графикам  $\Delta Z$  и локальных аномалий  $\Delta g$ .

1 — рыхлые отложения; 2 — песчаники; 3 — туфы андезитовых порфиритов; 4 — алевролиты, сланцы; 5 — взрывчатые брекчии андезитового состава.

Важным поисковым признаком гидротермальных урановых месторождений является наличие зон и полей гидротермально преобразованных пород, выявление которых имеет большое значение для выделения перспективных площадей. Зоны проявления некоторых фаций гидротермальных преобразований пород, в частности, процессов кислотного выщелачивания, отчетливо фиксируются магниторазведкой и электроразведкой отрицательными значениями  $\Delta Z$  и  $\text{min } \rho_k$  (рис. 28). Резкое понижение магнитной восприимчивости вулканогенных и других пород связано с разложением магнетита при гидротермальном процессе.

В районе развития гидротермально-метасоматических месторождений урана благоприятные для рудоотложения биотит-гранатовые гнейсы проявляются среди мигматитов и других пород положительными ано-

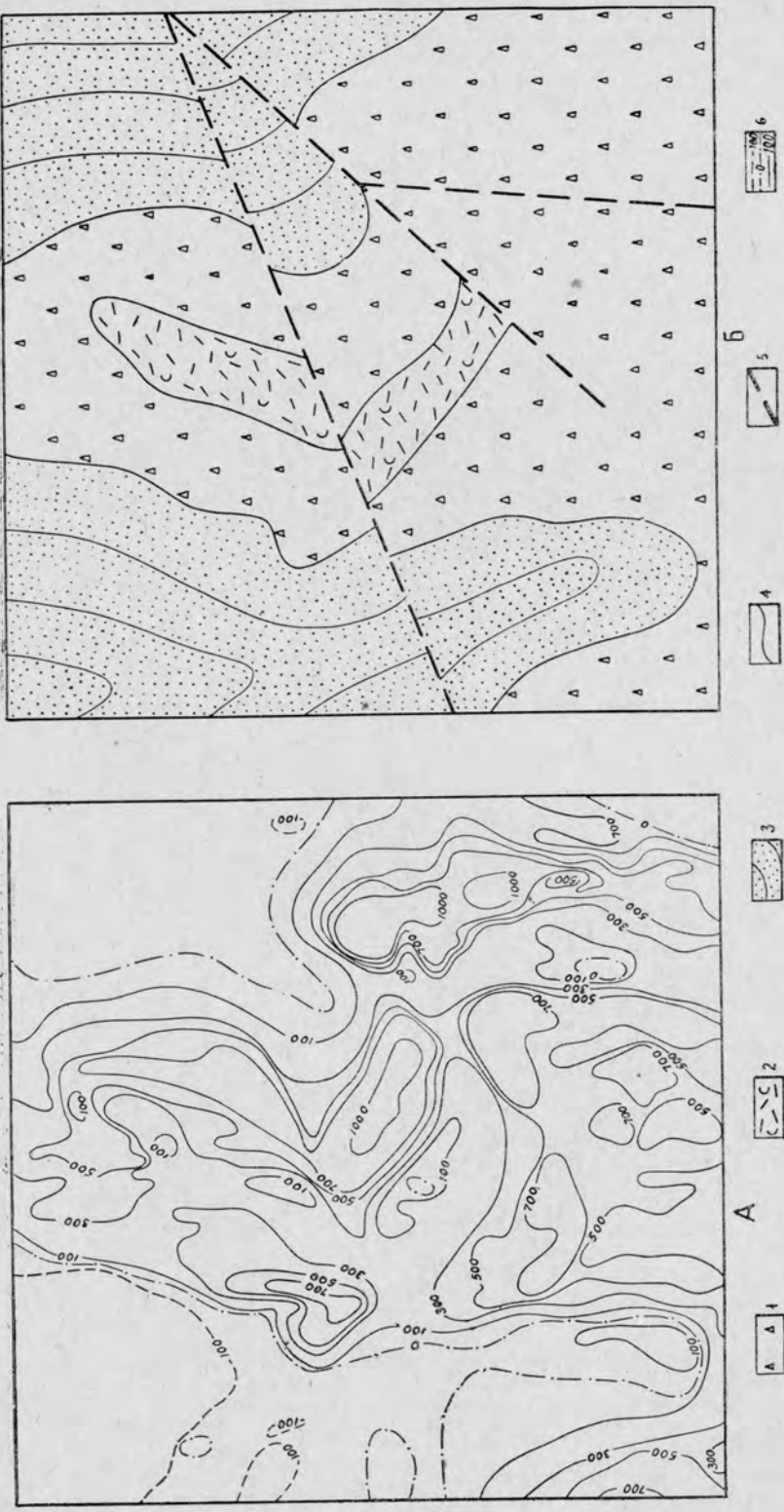


Рис. 27. Картирование разрывных структур по смещению магнитных аномалий.

А — карта изолиний ΔZ; Б — геологическая карта участка, построенная с учетом данных магниторазведки.  
 1 — порфиры; 2 — фельзиты; 3 — песчаники; 4 — контакты пород; 5 — тектонические зоны; 6 — изолинии ΔZ.

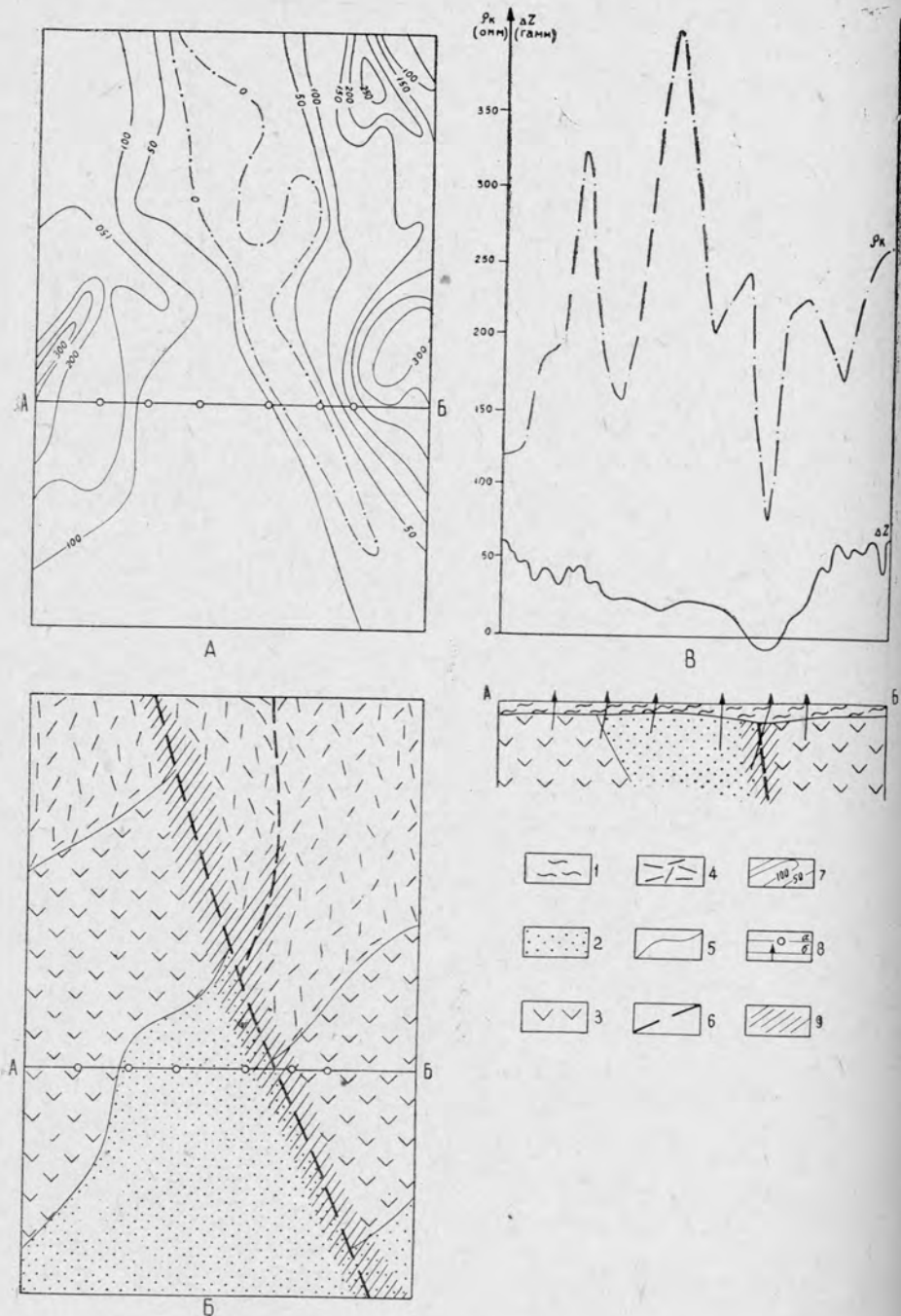


Рис. 28. Выявление тектонической зоны по данным магнито- и электроразведки (СЭП:  $AB=300$  м,  $MN=20$  м) и бурения.

А — карта изодинам  $\Delta Z$ ; Б — схема геологического строения участка по данным магниторазведки, электроразведки и картировочного бурения; В — геологический разрез по линии АБ с графиками  $\Delta Z$  и  $\rho_k$  (СЭП).

1 — рыхлые отложения; 2 — песчаники; 3 — порфириды; 4 — фельзиты; 5 — контакты пород; 6 — разрывные нарушения; 7 — изодинамы  $\Delta Z$ ; 8 — картировочные скважины (а — на картах, б — на разрезе); 9 — зона гидротермальноизмененных пород (по типу березитизации).

малиями силы тяжести (рис. 29, Б; табл. 6). В то же время безрудные комплексы пород, дифференцированные по магнитной восприимчивости и плотности (биотит-пироксеновые гнейсы, мигматиты), выделяются аномалиями другого типа (рис. 29, А и В).

Вмещающие урановое оруденение пегматоидные жилы в мощных зонах разломов выделяются в магнитном поле наличием локальных ми-

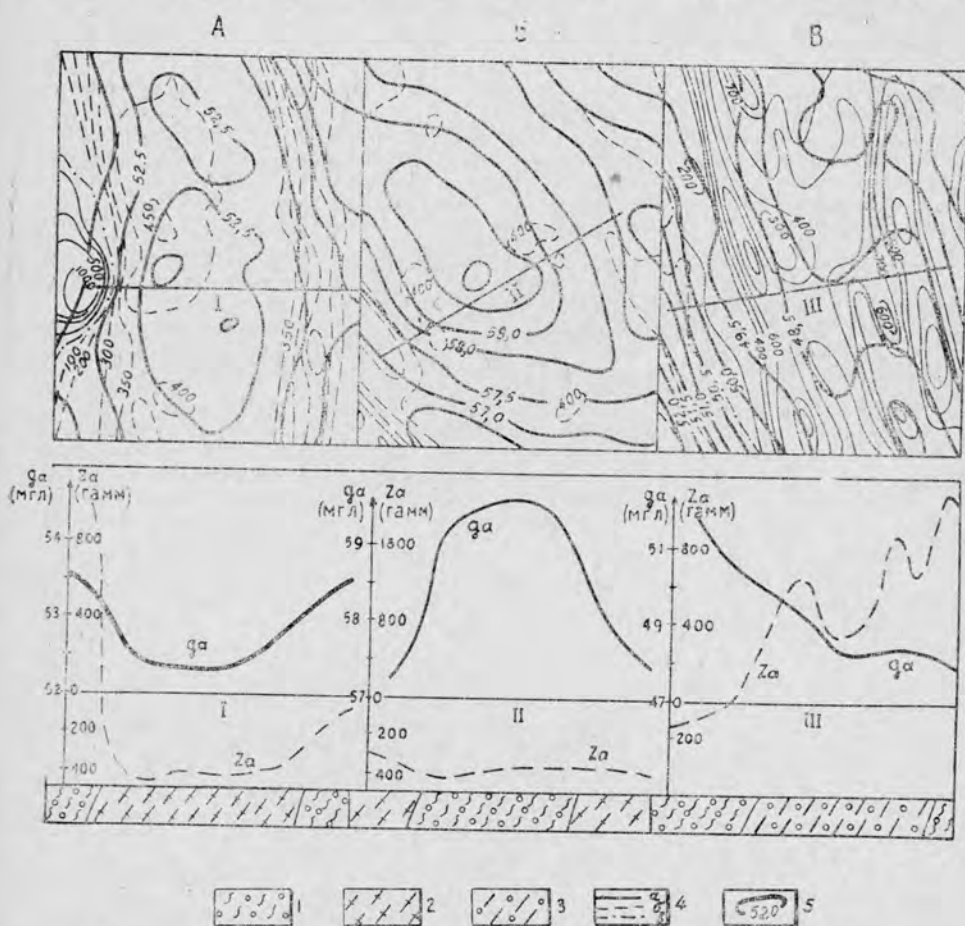


Рис. 29. Проявления различных комплексов пород в физических полях (по Ф. И. Манилову).

А — мигматиты среди биотитовых гнейсов; В — гнейсы амфибол-пироксеновые среди гнейсов биотитовых.

1 — гнейсы биотитовые и графит-биотитовые; 2 — мигматиты; 3 — гнейсы амфибол-пироксеновые и амфибол-биотитовые; 4 — изолинии магнитного поля (а — положительные, б — отрицательные); 5 — изолинии гравитационного поля

нимумов  $\Delta Z$  (вблизи высоких градиентов  $\frac{\Delta Z}{\Delta X}$ ), сопряженных с зонами пониженного электрического сопротивления (рис. 30).

В других случаях рудоконтролирующие разрывные нарушения устанавливаются в физических полях по смещению осей гравитационных и магнитных аномалий, по зонам повышенных градиентов магнитного поля и минимумам  $\rho_k$  (рис. 31, А, В, В). В последнем случае разрывные нарушения выделяются благодаря развитым по зоне жилам пегматоидных гранитов, отличающихся пониженной плотностью и небольшим удельным электрическим сопротивлением.

Приведенными примерами, естественно, не ограничиваются все случаи проявления рудоконтролирующих структур в физических полях.

Характер проявления в физических полях геологических факторов, контролирующих гидротермально-метасоматические месторождения урана в пегматоидных гранитах (по данным А. Н. Еремеева, А. С. Клочкова, М. Е. Коцена, Ф. И. Манилова)

Рудоконтролирующие факторы	Характер геофизических полей	Методы выявления и картирования
<p>Долгоживущие разломы глубокого заложения в области сочленения протерозойских и архейских образований, а также активизированные участки последних</p>	<p>Резкий градиент силы тяжести (более 2 мг/км), прослеживаемый на десятки километров; резкая смена характера магнитных полей, например спокойного на резко дифференцированное</p>	<p>а) структурно-формационный анализ б) гравиметровая съемка м-ба 1 : 200 000 в) магнитная съемка м-ба 1 : 50 000</p>
<p>Многokратная повторная гранитизация с образованием молодых гранитов (на 200—600 млн. лет моложе ранних гранито-гнейсов)</p>	<p>Узкие минимумы магнитного и гравитационного полей, обычно линейные и протяженные</p>	<p>а) определения радиологического возраста гранитоидов б) магнитная и гравиметровая съемка м-ба 1 : 25 000</p>
<p>Крупные останцы железосодержащих гнейсов</p>	<p>а) локальные положительные аномалии силы тяжести в 2—3 мг размером более 2 кв. км б) положительные магнитные аномалии интенсивностью 1—20 мэ</p>	<p>а) гравиметровая и магнитная съемка м-ба 1 : 25 000 с составлением карт простираций (пластовых карт); б) магнитный картаж</p>
<p>Наличие графитовых или графитосодержащих гнейсов в составе крупных останцов метаморфических пород</p>	<p>Минимумы естественного поля 20—150 мэв</p>	<p>Измерение естественного электрического поля</p>
<p>Сочетание разломов с останцами гнейсов</p>	<p>а) нарушение корреляции осей магнитных и гравитационных аномалий или резкие смещения линий простираания в областях, характеризующихся в предыдущем пункте а) б) минимумы кажущегося сопротивления</p>	<p>а) магнитная и гравиметровая съемка м-ба 1 : 25 000 с детализацией б) ВЭЗ, СЭП</p>
<p>Развитие в зонах разломов окварцованных пегматоидных жил</p>	<p>Зоны локальных минимумов магнитного поля с амплитудой 20—50 гамм вблизи зоны четких градиентов магнитного поля</p>	<p>а) магнитная съемка м-ба 1 : 10 000; б) минералого-петрографические исследования в шлифах, аншлифах и протолочках в) гамма-спектрометрия по обнажениям и скважинам</p>

В других геологических обстановках они могут быть существенно иными. Поэтому весьма важно до проведения в районе крупномасштабного геологического картирования установить характер проявления рудоконтролирующих факторов в физических полях для известных типов урановых месторождений. В дальнейшем, в процессе проведения геофизических работ и интерпретации получаемых результатов следует прежде всего уделять внимание выделению именно этих признаков с попутным решением общих задач геологической съемки. Для достижения этого необходима тщательная детализация и максимальное сгущение сети наблюдений на участках проявления физических полей, характерных для рудосодержащих горных пород и структур. И наоборот, на площадях сравнительно спокойных физических полей возможно разрежение сети наблюдений.

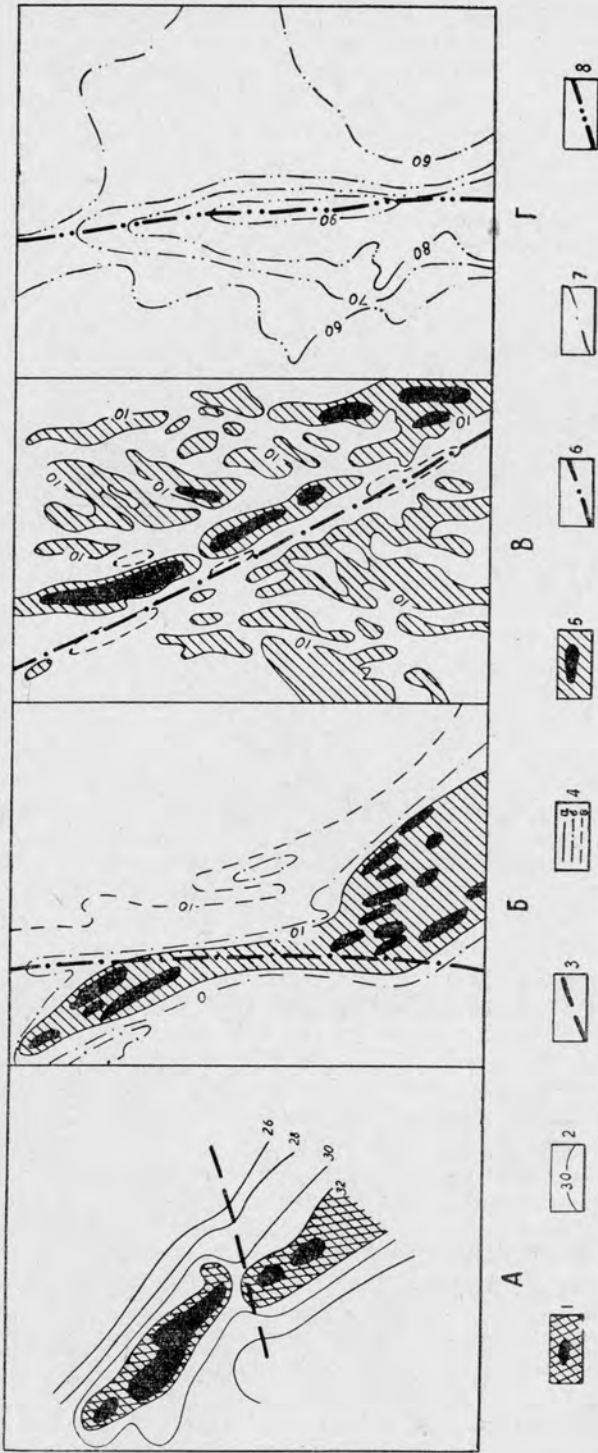


Рис. 30. Проявление разрывных нарушений в физических полях (по Ф. И. Манилову):

А — в гравитационном поле по смещению оси аномалий; Б — в магнитном поле по смещению оси аномалий; В — в магнитном поле (изолинии  $\frac{\Delta Z}{\Delta X}$ ) по зоне градиентов, сдвигающей магнитные аномалии по простиранию; Г — по впадине в рельефе кристаллических пород фундамента, зафиксированной ВЭЗ.  
 1 — положительные гравитационные аномалии; 2 — изолинии гравитационного поля, *мгЛ*; 3 — тектоническое нарушение по данным гравиметрии; 4 — изолинии магнитного поля в тамбах (*а* — положительные, *б* — отрицательные); 5 — положительные магнитные аномалии; 6 — тектоническое нарушение по данным магниторазведки; 7 — изолинии кровли фундамента кристаллических пород по данным ВЭЗ; 8 — тектоническое нарушение по данным электроразведки.

В период подготовки к полевым работам исключительно важен сбор информации по физическим свойствам горных пород, типам физических полей, обусловленным геологическими процессами, контролирующими

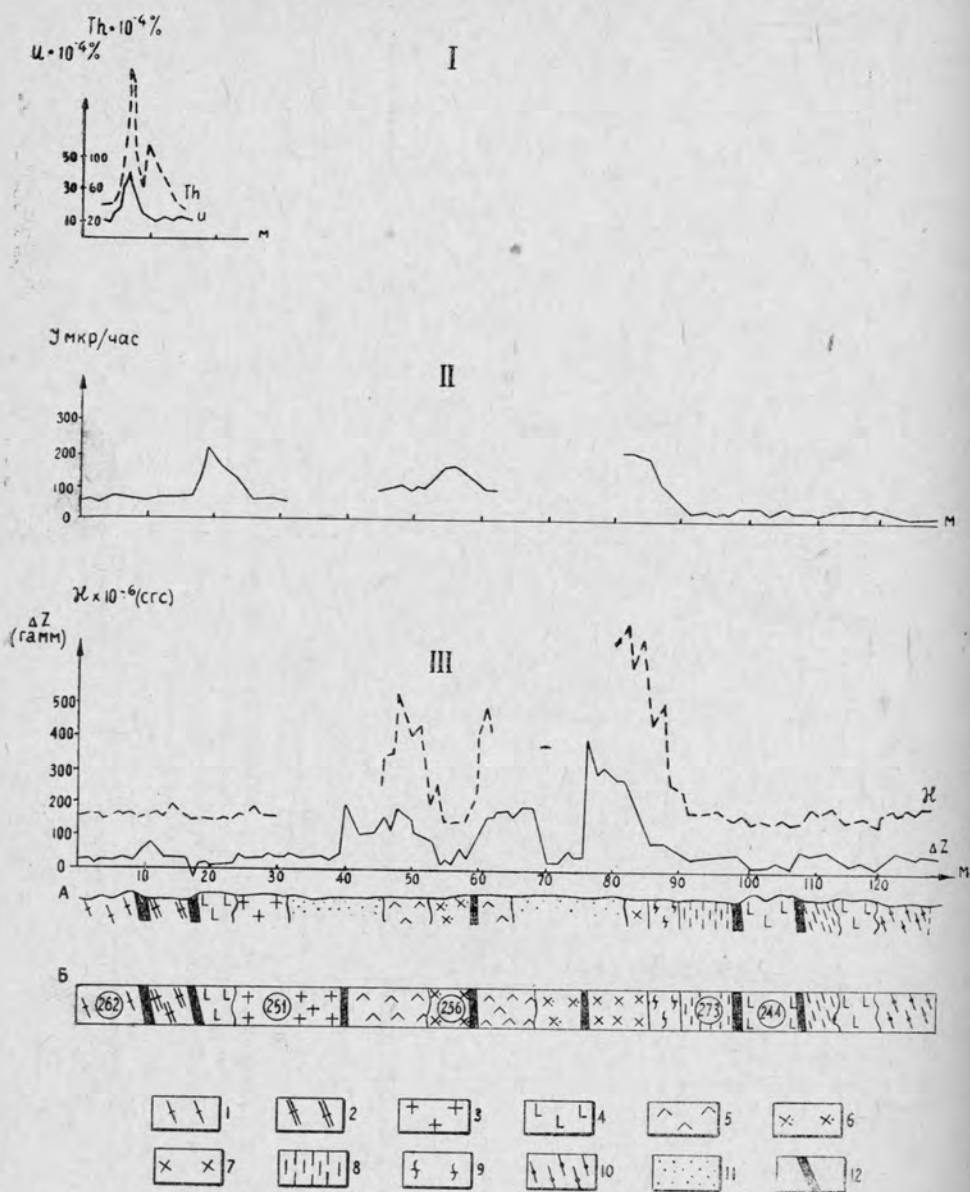


Рис. 31. Геологический разрез по естественным обнажениям и керну скважин (А) и после интерпретации геофизических данных (Б)

I — график содержания U и Th в породах; II — гамма-активность в мкр/час; III — график магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) и  $\Delta Z$ .

1 — крупнозернистые серые граниты; 2 — крупнозернистые розовые граниты; 3 — мелкозернистые розовые граниты; 4 — пегматиты; 5 — слениты; 6 — крупнопластинчатые альбититы по гранитам; 7 — сахаровидные альбититы; 8 — биотитовые гнейсы; 9 — хлорит-альбитовые гнейсы; 10 — «тенивые» мигматиты; 11 — рыхлые отложения; 12 — зоны дробления; цифры на разрезах — плотность пород в г/см<sup>3</sup>.

в районе размещения месторождений урана. Если эти данные отсутствуют, то до постановки планомерных комплексных работ проводятся опытно-методические геолого-геофизические исследования не ранее выявленных и изученных урановых месторождений.

Крупномасштабное специализированное картирование в закрытых районах включает следующие виды работ:

а) маршрутные геологические и комплексные геолого-геофизические исследования;

б) площадные геофизические исследования методами гравиразведки, магниторазведки и электроразведки;

в) комплексную интерпретацию геофизических данных и составление интерпретационных геофизических карт;

г) картировочное и структурное бурение, различные виды каротажных работ;

д) минералого-геохимические исследования;

е) составление геолого-прогнозной карты с выделением перспективных участков для детальных геолого-поисковых работ\*.

Комплексные маршрутные исследования включают:

а) геологическое изучение коренных выходов пород с отбором образцов для минералого-петрографического и геохимического изучения, измерения плотности, магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности пород;

б) измерение приращений вертикальной составляющей магнитного поля ( $\Delta Z$ ) через 10—25 м;

в) измерение магнитной восприимчивости пород ( $\chi$ ) в коренном залегании;

г) параметрическое микрозондирование для определения удельного электрического сопротивления пород;

д) измерение гамма-активности (через 10 м при сплошном прослушивании в телефон) и установление природы радиометрических аномалий.

Маршрутные исследования дополняются проходкой горных выработок между обнажениями, а в ряде случаев и картировочных скважин с целью интерпретации геофизических данных на участках с мощностью рыхлых отложений более 2—5 м.

Применение геофизических методов в комплексе с геологическими наблюдениями позволяет дифференцировать породы по магнитной восприимчивости и плотности, уточнить интерпретационные признаки — основу для отождествления геофизических аномалий на закрытой части площади с конкретными элементами геологического строения. Кроме того, при комплексных маршрутах возможно выявление контактов геологических образований на закрытых участках между обнажениями по особенностям геологического строения и конфигурации геофизических полей. Наконец, проведение профильной магнитной съемки и каппа-метрических исследований непосредственно в маршруте позволяет установить возмущающие магнитные тела, не выходящие на дневную поверхность, а также разделить внешне сходные, но различающиеся по значениям радиоактивности и магнитной восприимчивости комплексы пород. С максимальной детальностью в процессе маршрутных исследований изучаются геологические элементы (контакты, жилы, разломы, пористые горизонты и т. п.), которые могут контролировать оруденение.

По результатам геолого-геофизических маршрутных наблюдений строятся геологические разрезы, обычно на масштаб крупнее масштаба рабочей геологической карты, с графиками  $\Delta Z$ , гамма-активности и значений  $\chi$ ,  $\delta$ , а также уточняются данные о физических свойствах пород. На основе полученных данных строятся опорные геологические разрезы.

Следующим этапом является проведение планомерных площадных геофизических исследований в комплексе с геологическими наблюде-

\* Общепринятые методы геологических и минералого-геохимических исследований, сходные с таковыми на открытых территориях, изложены выше и здесь не рассматриваются.

ниями на обнажениях и картировочным бурением на закрытых площадях.

Решение задач геологического картирования с помощью геофизических методов основано на различии физических свойств горных пород, слагающих изучаемую площадь. Возможность дифференциации пород по физическим свойствам в различных геологических ситуациях целесообразно предварительно определять путем расчета вероятности разделения аномалий физических полей с учетом ошибок наблюдений.

Определения плотности и магнитной восприимчивости пород выполняются по образцам в лабораторных условиях или *in situ* на участках известных месторождений до проведения работ по специализированному картированию, а также в процессе маршрутных исследований. В дальнейшем, при бурении скважин на площади картирования проводится отбор образцов для уточнения данных о физических свойствах.

Удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ) пород определяется по параметрическим замерам в выработках и на обнажениях, а также по данным электрокаротажа (БКЗ). Особое внимание уделяется изучению удельного сопротивления пород по зонам разрывных нарушений.

Результаты измерений физических свойств обрабатываются с помощью вероятностного графарета, и для каждой разновидности пород подсчитывается модалное значение, стандартный множитель (для  $\chi$ ) и стандартное отклонение (для  $\delta$  и  $\rho$ ). Изменение физических свойств пород по разрезу может быть отражено в виде таблиц, а при достаточной густоте пунктов отбора проб или измерений — на специальных картах магнитной восприимчивости и плотности пород, а также на петрофизических картах.

При крупномасштабном геологическом картировании закрытых территорий с применением геофизических работ большое значение имеет правильный выбор контуров площадных съемок, масштабов отдельных видов исследования, последовательность выполнения работ и рациональное комплексование различных методов.

Площади, в пределах которых проводятся геофизические работы, могут не совпадать с площадями геологической съемки. В частности, планшеты гравиразведочных работ обычно выходят за контур площади геологической съемки как минимум на величину максимального радиуса осреднения при трансформациях поля силы тяжести.

Магнитная съемка проводится или в контурах площади картирования, или на отдельных участках с выходом за ее пределы, что необходимо для интерпретации магнитных аномалий, расположенных в крайних частях площади.

В отличие от гравиметровых и магнитных съемок, электроразведка обычно проводится в контуре площади геологического картирования. В некоторых случаях электроразведочные работы выполняются только в пределах наиболее сложных по геологическому строению сравнительно локальных участков, выделяемых по данным магнитных и гравиметровых съемок.

Масштабы геофизических работ выбираются в зависимости от ряда факторов и не обязательно соответствуют масштабу геологической съемки. Основным требованием при выборе масштабов отдельных видов геофизических работ является достижение такой детальности, при которой обеспечивается выявление геологических факторов, контролирующих оруденение. Шаг геофизических наблюдений по профилю устанавливается в зависимости от минимальных размеров тел, которые должны выделяться, контрастности их физических свойств, по сравнению с вмещающей средой, и глубины залегания.

Обычно при крупномасштабных геологических съемках (м-ба 1 : 50 000) гравиразведка выполняется в масштабе съемки. Наземные

магниторазведочные работы проводятся также в м-бе 1:50 000, но на участках, где по данным магнитных исследований м-ба 1:200 000 (1:100 000) можно предполагать сложное магнитное поле, площадные магнитные съемки проводятся в м-бе 1:25 000. Результаты ранее выполненных наземных магнитных съемок могут быть использованы при условии, если они отвечают требованиям, предъявляемым к детальности, качеству и привязке наблюдений. В этом случае обязательно проводятся контрольные профильные магниторазведочные работы для точной привязки аномалий на местности, выполнения количественных расчетов и размещения скважин картировочного бурения. Расстояние между профилями обычно составляет 1—2 км, измерения магнитного поля по профилю проводятся через 50—25 м.

Аэромагнитные съемки м-ба 1:25 000 или иного для целей специализированного картирования могут быть использованы как вспомогательные, однако полностью заменяющие наземных магнитных съемок. Это связано с тем, что близповерхностные намагниченные тела небольшой мощности, имеющие в ряде случаев важное поисковое значение, например дайки, аэромагнитной съемкой не выделяются.

Электроразведочные работы (различные модификации электропрофилирования) выполняются в м-бах 1:100 000—1:50 000 с детализацией в м-бе 1:25 000 или 1:10 000. Шаг измерений по профилю выбирается в соответствии с минимальными размерами аномалий над зонами тектонических нарушений с учетом мощности чехла рыхлых отложений. В табл. 7 приводятся установки электропрофилирования, апробированные в районах с низкоомным разрезом рыхлых отложений.

Таблица 7

Установки электропрофилирования, применяемые для выделения зон тектонических нарушений при наличии чехла низкоомных рыхлых отложений в зависимости от мощности последних (по М. И. Пахову)

Мощность рыхлых отложений, м	Применяемые модификации электропрофилирования	Разносы питающих линий, м	Разносы измерительных электродов, м	Шаг съемки, м
До 10	ДОП + СЭП СЭП по схеме АА' MN B' B ДОП + СЭП	$l = 100-150$ $AA' + BB' = 50-80$ $AB = 200-400$ $A'B' = 100-200$ $l = 250-400$ $AA' + BB' = 100-200$	10—20	20
10—20	СЭП по схеме АА' MN B' B	$AB = 400-700$ $A'B' = 200-300$	10—20	20
20—40	СЭП по схеме АА' MN B' B	$AB = 700-1000$ $A'B' = 300-500$	10—20	20
40—80	СЭП по схеме АА' MN B' B	$AB = 1000-2500$ $A'B' = 500-1000$	10—20	20

*Примечание.* Разносы СЭП — внутренние питающие электроды установки ДОП. Как в этом, так и в следующем случае указанная установка используется при спокойном рельефе поверхности и кровли фундамента.

Комплексирование методов предусматривает рациональную последовательность выполнения работ, при которой результаты более ранних исследований являются необходимыми для обоснования и эффективного проведения следующих. Гравиразведка, в связи с трудоемкостью, большими затратами времени на полевые и особенно камеральные работы, выполняется за 1—1,5 года до проведения всего комплекса геолого-геофизических исследований при специализированных съемках. Магнитные съемки в отдельных случаях целесообразно проводить ранее

электроразведочных работ. Это связано с тем, что магниторазведкой на картируемой площади часто удается выделить некоторые разрывные структуры, что может быть использовано для более целенаправленной постановки электропрофилеирования. Площадная магнитная съемка в первую очередь выполняется на более обнаженных и сравнительно лучше изученных частях площади.

Для проведения электропрофилеирования тех или иных модификаций площадь картирования делится на отдельные участки в зависимости от мощности рыхлых отложений. Такое районирование площади производится по материалам более ранних исследований, при недостатке или отсутствии их для схематического районирования выполняются ВЭЗ.

Знание глубины залегания кровли фундамента (мощности рыхлых образований) необходимо также для внесения поправки за подземный рельеф в данные гравиметровой съемки. Величина таких поправок может достигать 0,5—1,0 мгл, что соизмеримо с аномалиями над геологическими телами.

Результаты геофизических работ оформляются в соответствии с требованиями технических инструкций по отдельным методам — в виде карт изолиний, планов графиков и графиков по отдельным профилям. По этим материалам непосредственно в полевой период проводится качественная и количественная геологическая интерпретация геофизических данных.

Качественная интерпретация геофизических данных выполняется по признакам, отражающим закономерную, наиболее вероятную связь типичных для данной площади аномалий или особенностей геофизических полей с какими-либо элементами геологического строения района.

Качественная интерпретация геофизических данных проводится по следующей схеме:

1. Уточнение интерпретационных признаков для изучаемой площади.
2. Разделение физических полей на типы и выделение характерных для данной площади аномалий.
3. Построение интерпретационных карт по отдельным методам и сводной интерпретационной карты.

Интерпретационные признаки уточняются путем сопоставления имеющихся геофизических материалов по известным месторождениям с фактическими данными о геологическом строении площади, полученными в процессе геолого-геофизических маршрутов и по данным ранее пробуренных скважин.

Разделение физических полей на различные типы осуществляется путем сопоставления и группировки отдельных аномалий по амплитуде, знаку, характеру и сложности поля, величине горизонтального градиента, форме отдельных аномалий в плане, размерам аномалий, степени коррелируемости отдельных аномалий на графиках и т. д. При этом во внимание принимаются известные элементы геологического строения площади, глубина залегания возмущающих тел, состав и физические свойства горных пород и перекрывающих их рыхлых образований, возможные помехи.

При обработке данных гравиметровых съемок применяются методы трансформаций гравитационного поля (выделение локальных и региональных аномалий, пересчеты в верхнее и нижнее полупространство, вычисление производных). Наиболее простым и результативным является метод осреднения с выделением остаточных или локальных аномалий А. Н. Тихонова и Ю. Д. Буланже. Остальные способы трансформаций дают близкие ему результаты. При низкой точности работ, когда ошибка определения силы тяжести в отдельных точках может отразиться на величине локальной аномалии (или могут возникнуть ложные аномалии), лучшие результаты получаются при двойном осредне-

нии (метод Саксова и Нигарда). Радиус осреднения подбирается с учетом предполагаемых размеров и возможной глубины залегания геологических образований и структур, контролирующих урановое оруденение. Метод осреднения может применяться и для расшифровки сложных магнитных полей. Но в отличие от гравirazведки, радиус осреднения здесь равен первым десяткам — сотне метров, т. е. примерно соответствует мощности рыхлых отложений.

Результаты интерпретации геофизических аномалий отражаются на интерпретационных картах, которые сначала составляются отдельно для каждого метода. На эти карты выносятся предполагаемые границы геологических тел, с которыми связаны наблюдаемые геофизические аномалии, оси аномалий, элементы залегания геологических тел по геофизическим данным, зоны тектонических нарушений и т. д. На основании интерпретационных признаков расшифровывается геологическая природа отдельных аномалий и физических полей.

Количественная интерпретация данных гравirazведки выполняется по графикам  $\Delta Z$  по отдельным профилям с использованием сведений о геологическом строении и плотностных характеристиках слагающих район комплексов пород. На практике используется ряд известных приемов количественной интерпретации, наиболее употребимым из которых является метод подбора с построением предполагаемых разрезов по профилям.

На интерпретационную карту выносятся элементы геологического строения, получаемые при интерпретации карт общего поля силы тяжести, локальных (остаточных) и региональных (осредненных) аномалий. По картам общего поля и региональных аномалий выделяются крупные геологические объекты с указанием глубин их залегания, области высоких градиентов силы тяжести, соответствующие глубинным тектоническим разломам, показывается соотношение крупных блоков пород, намечаются границы наложенных тектонических структур и т. д. С карты локальных аномалий выносятся контуры пластов с избыточной плотностью, границы локальных изометричных геологических тел, зоны тектонических нарушений.

Помимо интерпретационной карты, результаты гравirazведки изображаются также в виде серии разрезов.

На интерпретационных схемах, составляемых по данным магниторазведки, оконтуриваются магнитовозмущающие геологические тела и, в соответствии с выделенными на площади характерными магнитными полями и аномалиями, условными знаками показывается предполагаемый состав слагающих их пород и проводятся оси магнитных аномалий, обычно совпадающие по направлению с простиранием пород. Контуры объектов, не выходящих под рыхлые отложения, а залегающих в толще коренных пород, показываются специальными знаками.

При проведении границ магнитовозмущающих тел обращается внимание на их падение, направление вектора намагничивания и неоднородность физических свойств пород. Положение границ вертикально намагниченных тел, имеющих крутое падение, как правило, соответствует области максимальных значений горизонтального градиента магнитного поля. Такие случаи довольно часты в практике — крутопадающие пачки чередующихся осадочно-эффузивных образований, дайки с вертикальным падением и т. п. При пологом падении намагниченных тел, косом намагничении, а также при меняющихся в области контактов магнитных свойствах пород положение границ определяется на основании: а) количественной интерпретации с учетом данных о магнитной восприимчивости и направлении вектора остаточной намагниченности пород; б) установления точного положения границ с помощью бурения и интерполяции полученных данных по характерным особенностям графиков  $\Delta Z$ .

Количественная интерпретация магниторазведочных данных проводится параллельно с качественной. Для отдельных аномалий определяются размеры и форма возмущающих тел, глубина их залегания, направление падения и т. п. Эти результаты также выносятся на интерпретационную схему.

В связи с тем что данные магниторазведки и гравиразведки, как правило, хорошо коррелируются между собой, дополняют друг друга и позволяют более уверенно интерпретировать полученные результаты, для этих методов может составляться одна интерпретационная карта.

Данные электроразведки обрабатываются по графикам  $\rho_k$ . При обработке графиков используется ряд вспомогательных приемов: пересечения структур по форме графиков, сравнение полученных графиков с палетками И. М. Блоха и др. Особое внимание следует обращать на выделение зон минимумов  $\rho_k$ , характеризующих обычно разрывные нарушения и имеющих в ряде случаев ширину первые десятки метров. Для наглядности выделения таких значений графики  $\rho_k$  строятся в м-бе 1:10 000 — 1:2000, т. е. в более крупном, чем масштаб специализированной карты. На профили выносятся следующие данные: мощность и состав рыхлых образований, состав коренных пород, тектонические нарушения (по данным картировочного бурения), положение современного и погребенного рельефа и т. п.

Далее совместно рассматриваются графики  $\rho_k$  по нескольким соседним профилям с целью выделения коррелирующихся аномалий  $\rho_k$ . Предполагаемые тектонические зоны, намечаемые по отдельным графикам  $\rho_k$ , выносятся по пикетам на интерпретационную карту, которая независимо от масштаба графиков строится в масштабе рабочей геологической карты.

На основе частных интерпретационных карт по отдельным методам строится сводная интерпретационная карта, на которой отображаются результаты анализа всех геофизических работ, проведенных на площади. Сводная интерпретационная карта составляется последовательно по мере отработки площади. Она используется при выборе точек заложения картировочных и структурных скважин и является, наряду с картой фактических геологических данных, исходным материалом для построения специализированной геологической карты.

Для определения надежности геологической информации, получаемой при специализированном картировании с помощью геофизических методов, в процессе работ бурением скважин систематически проверяется правильность интерпретации результатов геофизических методов.

Скважины картировочного бурения рекомендуется располагать по профилям вкрест генерального простирания структур района через 1—2 км. Расстояние между скважинами по профилю может изменяться в зависимости от характера расположения и морфологии геофизических аномалий, требующих подтверждения фактическими геологическими данными. Вопрос о глубине картировочных скважин решается в каждом конкретном случае в зависимости от геологической задачи, мощности рыхлых отложений, наличия коры выветривания и т. д. Как правило, скважины проходятся до пород, слабо измененных процессами гипергенеза. Подтверждение разрывной структуры, предполагаемой по данным электропрофилирования, проводится путем бурения наклонной скважины до глубины, позволяющей пересечь структуру на всю мощность, или двух-трех сближенных вертикальных скважин.

Другим видом буровых работ, применяемых при крупномасштабных специализированных съемках в закрытых районах, является структурное бурение, осуществляемое с целью интерпретации глубинных геофизических аномалий, а также уточнения особенностей стратиграфического разреза, сложных структурных узлов и т. п., благоприятных для разме-

щения урановых месторождений. По структурным скважинам, кроме гамма-каротажа, проводится электрокаротаж (БКЗ, КС и ПС), с помощью которого выбираются оптимальные размеры зондов для последующих работ (по данным БКЗ), расчленяется геологический разрез, выделяются зоны тектонических нарушений, которые могут быть пропущены при геологической документации в случае неудовлетворительного выхода керна, определяется значение истинного электрического сопротивления коренных пород, в том числе в зонах тектонических нарушений и гидротермально измененных пород. Результаты интерпретации электрокаротажных диаграмм используются при построении колонок по скважинам и геологических разрезов.

Следующим этапом работ является построение полевой специализированной геологической карты со снятым чехлом рыхлых отложений. С этой целью на сводную интерпретационную карту выносятся данные по документации обнажений, скважин, а также геологическая ситуация, полученная при построении разрезов. Путем анализа результатов сводной интерпретации геофизических данных проводится корреляция стратиграфических границ и прослеживание разрывных нарушений между профилями. Границы между выделенными геологическими образованиями даются в условных обозначениях, позволяющих установить на основании каких методов (или метода) они проведены, при этом особо отмечаются интервалы, в пределах которых стратиграфические границы, контакты интрузивных пород, разрывные нарушения и т. п. подтверждены бурением или наблюдениями на обнажениях и в горных выработках.

Условными знаками на карте показываются проявления урановой минерализации, радиоактивные аномалии, ореолы сопутствующих урану элементов, участки гидротермально измененных пород и т. п. В ряде случаев в процессе построения рабочей геологической карты для уточнения положения контактов разрывных структур, состава осадочных и магматических образований и т. д. возникает необходимость бурения дополнительных картировочных скважин как на профилях, так и между ними. Эти работы выполняются планомерно, по мере изучения отдельных участков площади.

Решение второй задачи специализированного картирования — подготовки к методически обоснованному ведению поисковых работ — выполняется путем построения ландшафтно-геохимической карты или карты районирования площади по категориям трудности опоскования с соответствующим выбором тех или иных средств поисков. Для этого составляется карта мощности и состава рыхлых отложений, а также образований коры выветривания.

Эта карта строится на основании совместного анализа результатов ВЭЗ, электропрофилирования и документации картировочных скважин и выполняется в виде накладки на геологическую карту. Изопахиты рыхлых отложений наносятся обычно с сечениями, соответствующими глубинности применяемых технических средств поисков. Например, в условиях лесостепных районов, где глубинные поиски проводятся с применением агрегатов СВА-2, СУГП-10 и буровых установок БСК-2-100, ЗИВ-150 (глубина проникновения поискового снаряда соответственно 5, 20, 70—100 и 150 м), рекомендуется выделять следующие изопахиты: 5, 20, 70 и 100 м; при этом условными знаками показываются участки развития песков, галечников и других отложений, трудно проходимых для агрегатов СВА-2 и СУГП-10.

На карте районирования площади разделены на участки, в пределах которых достоверные поиски возможны с применением определенных технических средств. На этой карте штриховкой показываются участки с отсутствием коры выветривания, на которых достоверные поиски возможны только путем бурения с углублением в породы основания.

По завершении полевых работ на основе всестороннего анализа всех материалов крупномасштабного комплексного специализированного картирования предварительно намечаются перспективные площади и даются методические указания по проведению дальнейших детальных геолого-поисковых работ в пределах каждого выделенного участка.

Ниже рассматриваются два примера проведения комплексных геолого-геофизических работ при составлении специализированных на уран геологических карт в м-бе 1 : 50 000.

В первом примере рассматриваются методические приемы составления специализированной геологической карты м-ба 1 : 50 000 района, где поисковые работы направлены на выявление гидротермальных урановых месторождений, пространственно связанных с проявлениями позднеорогенной трахиандезито-диоритовой вулканогенно-интрузивной формации. Площадь исследования расположена в южной части складчатого обрамления жесткого массива и характеризуется неоднородным блоковым строением. Практически вся площадь съемки закрыта рыхлыми отложениями мощностью более 20 м. Отдельные выходы пород фундамента известны лишь в ее северо-восточной части.

Геологическая карта участка, составленная по фондовым материалам в предполевой период, является весьма схематичной и совершенно непригодной для выделения локальных перспективных структур (прилож. 8, А). Для составления геолого-прогнозной карты на этой площади была поставлена специализированная геологическая съемка м-ба 1 : 50 000 с привлечением широкого комплекса геофизических методов.

Так как палеозойские образования в рассматриваемом районе почти полностью перекрыты рыхлыми отложениями, для интерпретации геофизических данных были использованы признаки, установленные в процессе опытно-методических работ на сопредельной ранее изученной площади, в пределах которой известно месторождение урана в сходной геологической обстановке.

В геологическом строении площади принимают участие различные разновидности осадочных и магматических пород, различающихся по своим магнитным и другим свойствам, что обуславливает сложный дифференцированный характер магнитного и других полей (прилож. 8, В).

По характеру и интенсивности магнитного и гравитационного полей выделены участки предполагаемого развития гранитов, диоритов, вулканогенных пород основного и среднего состава, жерловых фаций и осадочных отложений, отличающихся спокойными и сравнительно низкими значениями  $\Delta Z$  и т. д., а также намечены зоны тектонических нарушений. Для отдельных магнитных аномалий произведена предварительная количественная оценка глубины залегания, формы и размера магнитовозмущающего тела, которое предположительно связывается с вулканическим аппаратом центрального типа.

По данным электроразведки (симметричное электропрофилирование) прослежены под наносами зоны тектонических нарушений по минимумам  $\rho_k$  и определена мощность рыхлых отложений. По комплексу данных магниторазведки, гравиразведки и электроразведки наиболее отчетливо выделяются зоны разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания.

Все элементы геологической интерпретации данных различных геофизических методов вынесены на сводную интерпретационную карту (см. прилож. 8, Г).

Подтверждение выводов, сделанных в процессе интерпретации геофизических данных, проводилось путем бурения картировочных скважин, располагавшихся на профилях геофизических работ. Из керна скважин отбирались образцы, шлифы и пробы для детального петрографического и минералого-геохимического изучения горных пород. Особое внимание уделялось изучению зон гидротермальных изменений.

Пробы подвергались спектральному, перлово-люминесцентному и другим видам анализов, а по образцам определялись физические свойства пород.

На основании анализа результатов геолого-геофизических, минералого-геохимических и других исследований и документации картировочных скважин была составлена крупномасштабная геологическая карта (см. прилож. 8, Д), на которой достаточно детально расчленены различные комплексы пород, выделены и оконтурены рудоконтролирующие факторы: вулканогенные образования жерловой фации, зоны разрывных нарушений, проявления сульфидной минерализации и т. д. Данными картировочного бурения было подтверждено представление о продолжении гранодиоритового массива под красноцветными молассовыми отложениями. В центральной части площади картировочным бурением были подтверждены результаты количественной интерпретации данных магниторазведки о наличии на глубине порядка 90 м вулканического аппарата центрального типа, сложенного explosивными брекчиями андезитового состава.

На основании интерпретации данных геофизических методов удалось выявить ряд разрывных структур, определяющих блоковое строение площади. В частности, картировочным бурением были подтверждены предполагаемые по данным электропрофилирования зоны дробления северо-западного направления и выявленные при комплексной интерпретации данных гравиметровых и магнитных съемок северо-восточные разломы. Изучение керна скважин и результатов спектрального и перлово-люминесцентного анализов проб, отобранных из пород фундамента, позволили выявить радиоактивную аномалию, сопровождаемую ореолом молибдена. Радиоактивная аномалия приурочена к узлу пересечения северо-западных и северо-восточных разрывных нарушений, в пределах которых вмещающие породы интенсивно хлоритизированы, карбонатизированы и пиритизированы.

Для постановки детальных поисковых работ выделен участок в центральной части площади, в пределах сложного узла пересечения разломов двух направлений, контролирующих размещение экстрезивных и интрузивных тел диоритового состава, а также проявления гидротермальной деятельности. Объемы работ, проведенных на участке, даны в табл. 8.

Анализ схемы развития рыхлых отложений и образований коры выветривания (см. прилож. 8, А) показывает, что поиски месторождений в пределах выделенного участка могут проводиться по вторичным ореолам рассеяния урана в коре выветривания, при этом достоверное опоскование возможно только с помощью бурения.

Во втором примере рассматриваются методические приемы составления специализированной геологической карты района поисковых работ по выявлению урановых месторождений гидротермально-метасоматического типа в пегматоидных гранитах. В региональном плане подобные месторождения располагаются в краевых частях крупных блоков, сложенных архейскими образованиями, в областях их сочленения с узкими протерозойскими геосинклинальными зонами. Детальные геолого-геофизические съемки и разведочные работы, выполненные на урановых месторождениях этого типа, позволили установить для них конкретные геологические критерии и поисковые признаки, важнейшие из которых приведены в табл. 5.

Площадь, на примере которой иллюстрируется методика специализированного картирования м-ба 1 : 50 000, расположена в пределах зоны разломов, в западной части которой выявлено месторождение урана.

На представленном макете карт (см. прилож. 9) воспроизведен один из фрагментов изученной площади в м-бе 1 : 50 000. Примерно на 95% территории породы кристаллического фундамента перекрыты рых-

проявлена слабо и устанавливается по данным прямых геологических наблюдений.

Гамма-каротаж скважин, геологическая документация керна и обработка результатов спектрального и перлово-люминесцентного анализов позволили выявить несколько радиоактивных аномалий в аплито-пегматоидных гранитах, одна из которых сопровождается повышенными концентрациями молибдена. Аномалии тяготеют к зонам тектонических нарушений, приурочены к участкам пересечения последними полей развития чарнокитов и жил пироксенсодержащих пегматоидных гранитов.

По сравнению с имевшейся к началу работ схемой, где геологическое строение площади отражено лишь в самых общих чертах, на крупномасштабной геологической карте, составленной по результатам комплексных исследований, нашли отражение важнейшие закономерности размещения благоприятных для уранового оруденения пироксеновых гнейсов и чарнокитов, выделены основные рудоконтролирующие тектонические нарушения и зоны скопления аплито-пегматоидных жил, что позволило выделить два перспективных участках для постановки поисковых работ (см. прилож. 9, E).

Анализ карт рыхлых отложений и коры выветривания (см. прилож. 9, Ж и З) позволил наметить рациональный комплекс поисковых методов, которые в данной ландшафтно-геохимической обстановке могут быть ориентированы на поиски урановых месторождений по их вторичным остаточным ореолам в коре выветривания. Учитывая значительную мощность рыхлого покрова (в среднем 30 м) и наличие в его толще прослоев песков, надежное опоскование участков возможно только с помощью бурения. Объемы работ, проведенных в районе, даны в табл. 9.

Таблица 9

Объем основных видов работ на 100 кв. км площади, выполненных при специализированном геологическом картировании м-ба 1 : 50 000 в районе развития гидротермально-метасоматических месторождений урана в пегматоидных гранитах

Вид работ	Единица измерения	Расчетная сеть, м	Общий объем на 100 кв. км	Примечание
Геологические маршруты с радиометрическими измерениями	Пог. км		44	
Комплексные геолого-геофизические маршруты	" "		7,5	Измерение $\Delta Z$ , $\mu$ , радиоактивности образцов
Магнитная съемка	Кв. км	200×50	100	
Профильная магниторазведка	Пог. км	Шаг 25 м	25	По профилям картировочного бурения
Гравиметрическая съемка	Кв. км	400×150	100	
Электроразведка методом ВЭЗ	Точка	2000×1000	59	
Электропрофилрование	Кв. км	400×150	100	
Картировочное бурение (средняя глубина скважин 60 м)	Пог. м	4000×500	3000	50 скважин
Структурное бурение (средняя глубина 300 м)	" "		600	2 скважины на планшет м-ба 1 : 50 000

В процессе последующего изучения территории бурением была подтверждена достоверность составленной крупномасштабной геолого-структурной карты, особенно литологическое расчленение пород. Надеж-

ность составленной карты и правильность выделения участков подтверждается выявлением в пределах северо-восточного участка крупной по размерам радиоактивной аномалии в коре выветривания, контролируемой зоной северо-восточного разлома.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ

Научным фундаментом геохимических методов исследований, применяемых с целью картирования, поисков и прогнозирования полезных ископаемых, является учение о миграции, рассеянии и концентрации элементов в земной коре в ходе развития различных геологических процессов. Основы этого учения заложены В. М. Гольдшмидтом (1938), В. И. Вернадским (1954), А. Е. Ферсманом (1952—1960), их учениками и последователями (Виноградов, 1955; Сауков, 1966; Rankama, Sahama, 1950; др.).

Общие вопросы теории и практики применения геохимических, в том числе и радиогеохимических исследований неоднократно рассматривались в советской и зарубежной литературе (Ферсман, 1939; Гинзбург, 1957; Соловов, 1959; Сафронов, 1962; Сауков, 1963; Хокс, Уэбб, 1964; Гинзбург и др., 1966; др.), а также в многочисленных статьях периодической печати.

Особенности распределения и поведения урана и тория в земной коре и образуемые ими естественные ассоциации с другими элементами определяются свойствами их атомов, ядер и ионов и физико-химическим состоянием природных сред. При выяснении потенциальной ураноносности геологических формаций большое значение имеет знание естественных ассоциаций урана, тория и других элементов в горных породах и рудах. Современные представления о природных ассоциациях и геохимических классификациях элементов основаны на эмпирическом материале и физико-химических свойствах атомов и ионов. В настоящее время предложен целый ряд геохимических классификаций химических элементов.

Наиболее удобной для использования в металлогенических построениях является геохимическая классификация В. М. Гольдшмидта (1938), в соответствии с которой практически все рудогенные элементы подразделяются на три большие группы: литофильные, халькофильные и сидерофильные. Элементы этих групп отличаются характерными особенностями распределения в земной коре, наиболее отчетливо проявленными в ее вертикальной геохимической зональности, и определенным положением в периодической системе Д. И. Менделеева, что вытекает из общности их физико-химических свойств. Последнее проявляется особенно отчетливо при рассмотрении величин ионно-атомных (орбитальных) радиусов, рассчитанных И. Т. Уoberом и Д. Т. Кромером (Waber, Kromer, 1965) на основе уравнений квантовой механики (Семенов, Смыслов, 1967).

Некоторые элементы по химическим, физико-химическим свойствам и геохимическим закономерностям распределения в земной коре занимают промежуточное (между указанными группами) положение. Например, молибден, в отличие от вольфрама, за счет изменения валентности может быть отнесен как в группу литофильных, так и сидерофильных элементов. К элементам с промежуточными свойствами следует отнести также медь (халькофильно-сидерофильный элемент), ниобий, золото и др.

Уран и торий являются типичными представителями литофильных верхнекорковых элементов (табл. 10). При этом литофильные свойства

Среднее содержание урана и элементoв-спутников уранового оруденения  
в главнейших типах горных пород земной коры, выхлых отложений и растениях (%)

	U 10 <sup>-4</sup>	Th 10 <sup>-4</sup>	Pb 10 <sup>-3</sup>	Mo 10 <sup>-4</sup>	As 10 <sup>-4</sup>	Cu 10 <sup>-3</sup>	Zr 10 <sup>-2</sup>	P 10 <sup>-2</sup>	F 10 <sup>-2</sup>	Au 10 <sup>-7</sup>	Se 10 <sup>-6</sup>	Zn 10 <sup>-3</sup>	Hg 10 <sup>-6</sup>	Bi 10 <sup>-6</sup>
Изверженные породы:														
кислые . . . . .	4,1	18,0	1,95	1,15	1,5	1,5	1,87	6,5	8,25	4,2	5,0	5,0	8,2	1,0
средние повышенной щелочности . . . . .	2,5	9,0	1,35	0,75	1,9	2,6	2,6	12,0	8,5	—	5,0	10,3	—	1,0
основные . . . . .	0,8	2,0	0,7	1,45	2,0	9,3	1,2	12,5	3,85	4,0	5,0	11,7	9,0	0,7
ультраосновные . . . . .	0,015	0,04	0,05	0,25	0,75	1,5	0,37	1,95	1,0	5,5	5,0	4,0	1,0	0,1
Осадочные отложения:														
карбонатные породы . . . . .	1,4	1,6	0,01	0,4	1,0	0,4	0,19	0,4	—	?	8,0	2,0	4,0	—
песчаники . . . . .	2,7	9,7	0,7	0,2	1,0	0,п	2,2	1,7	—	?	5,0	1,6	3,0	—
глинистые сланцы . . . . .	3,4	10,0	2,0	2,3	9,8	5,1	1,8	7,35	5,0	1,0	60,0	8,7	40,0	1,0
океанические пелитовые осадки . . . . .	3,5	3,9	8?	2,7	13,0	25,0	1,5	1,5	13,0	—	17,0	16,5	—	—
Почвы . . . . .	1,5	6,0	1,0	2,0	5,0	2,0	—	8,0	2,0	—	1,0	5,0	1,0	—
Зола растений . . . . .	0,5	—	1,0	2,0	0,3	20	—	700	0,1	1000	—	90,0	0,1	—

более четко проявлены у тория. Уран, в связи с его различной валентностью, так же как и молибден, обнаруживает в ряде случаев промежуточные свойства (литофильно-сидерофильные).

Геохимическая история поведения урана в земной коре является наиболее сложной и своеобразной, благодаря наличию ионов различной валентности, резко отличающихся размерами своих радиусов, потенциалами ионизации, окислительно-восстановительными потенциалами, способностью образовывать комплексные соединения и другими свойствами\*. При этом в эндогенных процессах поведение урана и тория во многом является сходным. Для формирующихся в этих условиях пород и руд характерна геохимическая ассоциация урана (вероятно, в форме  $U^{IV}$ ) и тория с танталом, ниобием, титаном, цирконием и другими элементами, являющимися очень слабыми и слабыми катионами. В экзогенных и отчасти эндогенных на малой глубине процессах поведение урана и тория существенно различно. В этих условиях уран (в форме  $U^{IV}$ ) обладает гораздо большей миграционной способностью и тесно ассоциирует с очень многими элементами: Mo, Cu, Fe, V, Pb, As, Sr и др.

С ураном и торием, являющимися родоначальниками естественных радиоактивных рядов, в природных объектах генетически тесно связано нахождение большой гаммы радиоактивных (Jo, Ra, Rn, Tn и др.) и стабильных изотопов (He, Pb<sup>206</sup>, Pb<sup>207</sup>, Pb<sup>208</sup>), наличие которых имеет большое значение для радиометрических и радиогеохимических исследований. Многие из этих элементов и их изотопы, являющиеся продуктами распада  $U^{235}$ ,  $U^{238}$  и Th<sup>232</sup>, в зависимости от геохимических особенностей среды, в которой происходило образование горных пород и руд и их последующие изменения, находятся с родоначальниками семейств и между собой в соотношениях, резко отличных от равновесных.

Наличие большого количества элементов-спутников урана и изотопов, генетически связанных с ураном и торием (продукты их распада), заставляет привлекать при проведении радиогеохимических исследований большое количество дополнительной информации и учитывать общие закономерности концентрации и рассеяния U и Th в земной коре.

### ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ УРАНА И ТОРИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Состояние всеобщего рассеяния, свойственное большинству малых элементов, особенно отчетливо проявлено для урана и тория. В рассеянном состоянии в земной коре находится подавляющая их масса. Рудные скопления этих металлов, превышающие кларк в сотни, тысячи и десятки тысяч раз, составляют лишь ничтожную часть (десятые доли процента) от их общего количества в земной коре. В связи с этим геохимические процессы, приводящие к рудообразованию, правомерно рассматривать на фоне более значительных по своим масштабам явлений рассеяния урана и тория, обусловленных осадконакоплением, магматизмом, региональным метаморфизмом и другими факторами.

#### *Осадконакопление*

Большая часть урана в приповерхностной зоне земной коры теснейшим образом связана с песчано-глинистыми и другими породами.

В ходе седиментации четко проявляются различные пути миграции урана и тория. Максимальные концентрации тория совместно с повы-

\* Основные особенности химических свойств урана и тория и геохимические закономерности их поведения в земной коре изложены в следующих работах: Кац и Рабинович, 1954; Войткевич, 1961; Таусон, 1961; Основные черты . . . . 1963; др.

шенными количествами U, Ti, Zr, Nb и других элементов отмечаются в грубообломочных прибрежно-морских и пролювиально-аллювиальных отложениях. Высокие содержания урана широко распространены также в мелкозернистых (терригенных) отложениях и некоторых типах известняков открытых морских и континентальных бассейнов. Наличие двух максимумов концентраций урана в осадочных отложениях различных фациальных зон (в грубообломочных породах, с одной стороны, и пелитовых осадках, с другой) отражает две основные формы миграции элемента: а) с обломками породообразующих и акцессорных минералов, б) в растворах в виде главным образом уранил-карбонатных комплексов. На различный характер миграции урана и тория в процессе осадконакопления указывают и значительные колебания величины Th/U отношения, максимальные значения которого фиксируются в грубообломочных осадках прибрежной зоны и пролювиально-аллювиальных отложениях, а минимальные — в карбонатных и глинистых породах открытых бассейнов (рис. 32).

В зависимости от величины Th/U отношения среди осадочных отложений выделяется несколько геохимических фаций:

1) фации с низкой величиной Th/U отношения ( $< 2$ ), в состав которых входят породы, образующиеся в условиях, когда экстракция урана из воды органическим веществом и другими восстановителями или сорбентами является основным фактором фиксации урана в осадке (черные сланцы, известняки, ангидриты);

2) фации с высоким Th/U отношением ( $> 7$ ), включающие осадки, содержащие устойчивые акцессорные минералы (монацит, титанаты урана и др.) и окисленные породы, из которых значительная часть урана вынесена;

3) промежуточные фации со средним значением отношения Th/U (от 2 до 7), являющиеся наиболее распространенными среди песчано-глинистых отложений с нормальным содержанием радиоактивных элементов.

В образовании геохимических фаций осадочных отложений с низким Th/U отношением большое значение имеет тесная связь урана органическим веществом, которая устанавливается как в терригенных, так и в карбонатных породах.

С осадконакоплением в различные периоды развития подвижных поясов и платформ связано формирование вполне определенных геохимических фаций осадочных отложений. Так, например, в период общего геосинклинального прогибания формируются фации осадочных отложений преимущественно с низким Th/U отношением и часто с повышенным и крайне неоднородным содержанием урана в разностях, обогащенных органикой и фосфором (табл. 11). Максимальная концентрация урана среди геосинклинальных осадков наблюдается в черных (углеродистых) глинисто-кремнистых сланцах, содержащих в повышенных количествах V, P, Mo, Pb и другие элементы.

Песчано-глинистые преимущественно флишеидные отложения внутригеосинклинальных прогибов (период позднего геосинклинального прогибания) в большинстве своем содержат близкие к кларковым количества урана и тория и характеризуются нормальным (2—7) Th/U отношением. В породах различной зернистости отмечается некоторое увеличение содержания урана от песчаников к аргиллитам, в то время как содержание тория остается практически постоянным.

Грубозернистые молассоидные отложения позднеорогенных впадин, образующиеся в условиях интенсивного развития процессов механического выветривания, отличаются во многих регионах резко повышенным Th/U отношением (рис. 32). Последнее обусловлено, с одной стороны, наличием обломков ториеносных минералов и, с другой стороны, связано с частичным последующим выносом урана из хорошо проницаемых

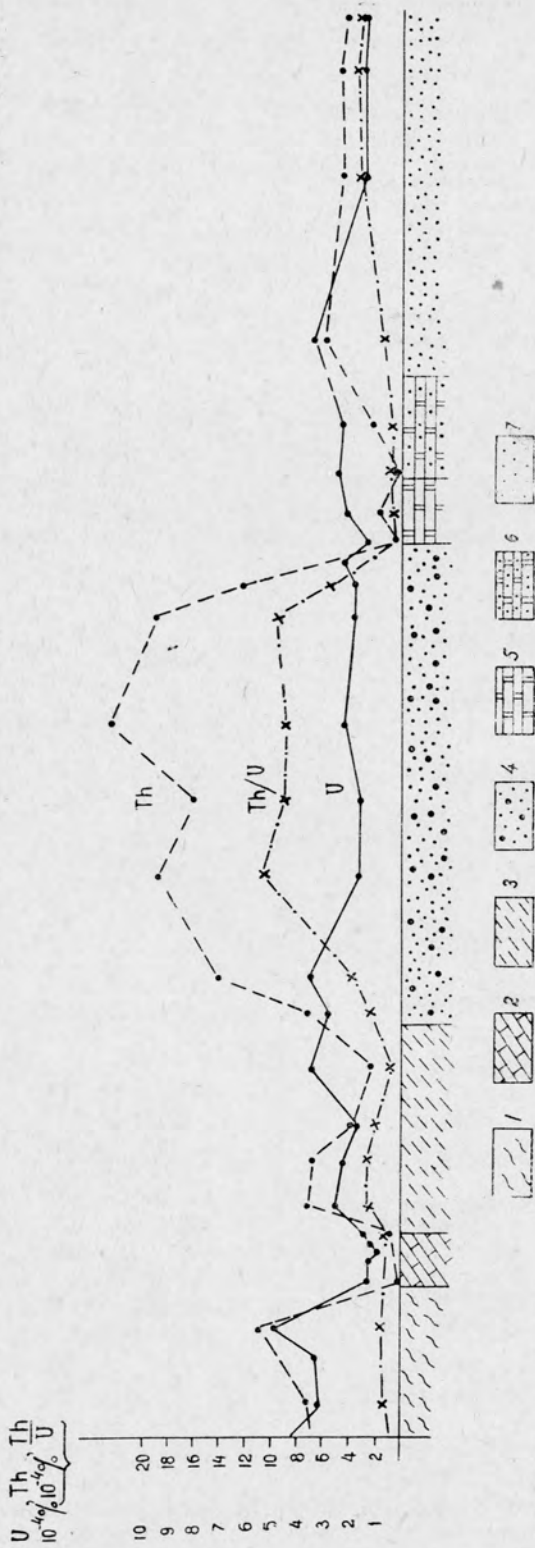


Рис. 32. Содержание урана и тория в осадочных отложениях различных этапов развития подвижных поясов земной коры (типы радиогенных фаций).

1 — глинистые и другие сланцы периода общего геосинклинального прогиба; 2 — карбонатные отложения (преимущественно известняки); 3 — флишские песчано-глинистые отложения позднего геосинклинального прогиба; 4 — молассовые грубозернистые отложения позднеорогенные; 5 — известняки (морские) переходного к платформенному периоду; 6 — мергелистые известняки субплатформенного периода; 7 — песчанники субплатформенного периода.

Содержание урана и тория в осадочных отложениях складчатых областей (10<sup>-4</sup>%)

Стадии и периоды развития	Типы пород	Уран	Торий	Th/U
Геосинклинальная стадия Стадия начального общего геосинклинального прогибания	<i>Песчано-глинистые отложения</i>			
	Углеродистые глинисто-кремнистые сланцы, обогащенные V, P, Mo и др. (X) * . . .	$\frac{4,1}{2,0-p \cdot 10}$	~8,0	2,0
	Глинисто-кремнистые сланцы (XX) . . .	$\frac{2,1}{1,5-3,0}$	$\frac{8,8}{5,4-15,3}$	4,1
	Яшмы, яшмо-кварциты (X) . . . . .	$\frac{2,0}{1,5-2,7}$	$\frac{2,5}{1,0-3,3}$	1,3
Стадия позднего геосинклинального прогибания (внутригеосинклинальные прогибы)	Песчаники (X) . . .	$\frac{2,1}{1,0-2,9}$	$\frac{10,3}{4,8-17,7}$	~4,9
	Аргиллиты (XX) . . .	~3,4	~6,0	—
	Алевролиты (XX) . . .	$\frac{2,7}{1,6-4,4}$	$\frac{7,0}{5,1-10,0}$	2,6
	Песчаники (XX) . . .	$\frac{2,4}{1,5-2,9}$	$\frac{7,2}{4,0-10,0}$	3,0
Позднеорогенный период (позднеорогенные впадины) **	Конгломераты (X) . . .	$\frac{1,5}{1,1-2,0}$	7,0	4,5
	Алевролиты, аргиллиты (X) . . . . .	$\frac{3,0}{1,5-4,3}$	9,6	3,2
	Песчаники (XX) . . .	$\frac{2,4}{1,6-4,1}$	$\frac{11,6}{8-15,0}$	≥4,8
Переходный к платформенному период (наложенные мульды)	Конгломераты (XX) . . .	$\frac{2,2}{1,6-2,3}$	$\frac{11,0}{10,0-13,1}$	≥5,0
	Алевролиты, аргиллиты (X) . . . . .	4,2	13,0	3,0
	Песчаники (XX) . . .	$\frac{2,2}{1,7-2,5}$	$\frac{5,0}{4,8-5,3}$	2,5
Геосинклинальный период Стадия общего прогибания	<i>Карбонатные отложения ***</i>			
	Известняки (XX) . . .	$\frac{1,3}{0,7-1,5}$	0,4	0,3
Стадия позднего прогибания	Известняки (XX) . . .	$\frac{1,2}{1,0-1,6}$	1,1	0,9

\* Здесь и далее X — десятки анализов, XX — сотни анализов, XXX — тысячи анализов.

\*\* Преимущественно красноцветные отложения (кварц-полевошпатовые).

\*\*\* В битуминозных известняках и известняках с повышенной фосфоритностью содержание урана увеличивается до 2—4·10<sup>-4</sup>% и более.

Стадии и периоды развития	Типы пород	Уран	Торий	Th/U
Позднеорогенный период	Известняки (XX) . . .	$\frac{1,0}{0,9-1,3}$	—	—
Переходный к платформенному период	Известняки (XX) . . .	$\frac{1,7}{1,4-2,0}$	1,5	0,9
	Мергелистые известняки, доломитистые известняки (X) . . . . .	$\frac{2,8}{1,5-8,5}$	2,0	0,7

окисленных пород. Для субплатформенной и платформенной стадий геологического развития регионов вновь отмечается преобладание фаций терригенных осадочных отложений с нормальным Th/U отношением. Характерной радиогеохимической особенностью осадочных пород платформ является более высокая радиоактивность карбонатных отложений по сравнению с геосинклинальными известняками и доломитами (табл. 12).

Таблица 12

Сопоставление кларков урана и тория в осадочных отложениях различных структурных зон земной коры ( $n \cdot 10^{-4}\%$ )

Порода	Океанические впадины			Платформы			Складчатые области		
	Торий	Уран	$\frac{Th}{U}$	Торий	Уран	$\frac{Th}{U}$	Торий	Уран	$\frac{Th}{U}$
Глинистые, глинисто-кремнистые сланцы, аргиллиты, глины . . .	3,9 (X)*	3,5	1,1	12,0 (X)	3,6 (XX)	3,3	8,1 (XX)	3,2 (XXX)	2,5
Песчаники . . . . .	2,1 (X)	2,5 (X)	0,8	—	3,0 (XX)	—	9,7 (XX)	2,5 (XXX)	3,9
Карбонатные отложения (преимущественно известняки) . . . . .	—	—	—	2,0 (X)	2,2 (XX)	0,9	1,2 (XX)	0,7 (XXX)	0,6

\* См. сноску к табл. 11.

Значительную роль в перераспределении радиоактивных элементов, главным образом урана, играют процессы диагенеза и эпигенеза осадочных отложений, которые приводят не только к увеличению степени неоднородности содержания металлов, но часто и к существенному приросту или выносу урана.

### Магматизм

Изверженные породы магматических формаций геосинклинальной стадии развития в большинстве складчатых областей отличаются однородной и низкой радиоактивностью. При этом наименьшие количества урана и тория фиксируются в ультраосновных и основных породах гипербазитовых формаций (табл. 13). Широко распространенные в склад-

Среднее содержание урана и тория в магматических породах палеозойских складчатых областей (n·10<sup>-4</sup>%)\*

Стадия развития	Формация	Главнейшие типы изверженных пород	Торий		Уран		$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$
			$\bar{X}$	V <sub>x</sub>	$\bar{X}$	V <sub>x</sub>	
Геосинклинальная	Гипербазитовая	Пироксениты, перидотиты, серпентиниты (X)**	1	—	0,05—0,2	—	3
	Спилито-кератофировая	Диабазы, диабазовые порфиры (XX)	$\frac{2,0}{1,0-8,0}$	—	$\frac{0,8}{0,7-1,1}$	35	2,5
		Альбитофиры, кварцевые порфиры (X)	$\frac{3,0}{2,0-5,0}$	—	1,8	—	1,6
	Андезитовая	Андезиты, андезитовые порфиры (XX)	$\frac{3,0}{2,0-5,0}$	33	1,4	38	2,2
Орогенная	Габбро-плагногранитовая	Габбро, габбро-диориты (X)	$\frac{4,0}{3,0-5,0}$	—	$\frac{1,0}{0,6-1,2}$	43	$\frac{4,0}{3,0-7,0}$
		Диориты, кварцевые диориты (XX)	$\frac{4,8}{3,0-7,8}$	44	1,5	35	$\frac{3,2}{1,9-5,2}$
		Плагнограниты, гранодиориты (XX)	$\frac{6,4}{3,0-11,3}$	41	$\frac{2,1}{1,5-2,5}$	31	$\frac{3,0}{1,2-5,4}$
позднеорогенная	Батолитовых гранитов	Микроклиновые порфировидные биотитовые граниты (главная фаза) (XXX)	$\frac{28,5}{9,0-38,0}$	24	$\frac{4,7}{3,3-6,7}$	40—45	$\frac{6,0}{3,0-7,0}$

		Мелкозернистые лейкократовые граниты (дополнительная фаза) (XX) . . . . .	$\frac{36,7}{30,0-44,0}$	20	$\frac{7,6}{5,8-10,7}$	21-35	$\frac{4,3}{3-5}$
Постороженная и активизации	Андезито-дацитовая	Базальтовые порфириты и их пирокласты (X)	6,0	—	$\frac{1,5}{1,3-2,8}$	—	4,0
		Андезитовые и трахиандезитовые порфириты и их туфы (XX) . . . . .	$\frac{10,0}{6,0-4,0}$	—	$\frac{2,5}{1,5-4,0}$	25	4,0
		Дацитовые порфириты (X) . . . . .	$\frac{14,0}{7,0-20,0}$	20	$\frac{8,5}{2,0-4,5}$	25-30	4,0
	Липаритовая	Кварцевые порфиры, фельзиты (XX) . . . . .	19,0	30-35	$\frac{4,7}{4,0-5,3}$	30-35	$\frac{4,0}{2,1-6,1}$
	Гранитоидная малых глубин	Граниты, гранодиориты (XX) . . . . .	$\frac{11,4-28,0}{3,0-13,0}$	—	—	—	—
	Лампрофиро-порфиритовая, дайковая	Дайки диоритовых и диабазовых порфиритов (XX) . . . . .	5,0	—	$\frac{3,3}{2,7-10,0}$	—	$\frac{1,5}{1,0-1,7}$
Платформенная	Базальтовая	Базальтовые и другие порфириты (X) . . . . . Нефелиновые и другие слениты (XX) . . . . .	6,0	30-40	1,2	20-30	5,0

Содержание урана и тория и их соотношение сильно варьируют

\* В числителе указано среднее содержание элементов в породах, для Th/U отношений — среднее значение, в знаменателе — пределы колебаний среднего в магматических образованиях различных регионов,  $V_x$  — коэффициент вариации содержания урана и тория (%).

\*\* См. сноску к табл. II.

чатых областях геосинклинальные вулканогенные образования спилито-кератофировой и диабазо-порфиритовой формаций, а также породы среднего и кислого состава, являющиеся продуктами дифференциации базальтовой магмы, характеризуются достаточно низкими и однородными содержаниями урана и тория. Эффузивы андезитовой и андезитодацитовой формаций завершающих стадий геосинклинального периода развития подвижных поясов почти не отличаются по радиоактивности и поведению элементов от более ранних вулканогенных формаций.

Низкое содержание урана и тория и слабо проявленное накопление элементов в конечных более кислых продуктах магматической дифференциации характерны для интрузивных пород массивов габбро-плагитогранитовой формации. Уран в интрузивных и эффузивных породах геосинклинальной стадии развития подвижных поясов находится преимущественно в труднорастворимой форме и сосредоточен главным образом в плагиоклазах, где он, вероятно, совместно с торием и редкоземельными элементами изоморфно замещает кальций. Низкое относительное содержание подвижного урана в породах и высокие значения коэффициента корреляции между ураном и торием [ $r = (+0,7) - (+1,0)$ ] указывает на то, что уран в этот период развития магматизма находился преимущественно в четырехвалентном миграционно устойчивом состоянии.

Таким образом, общей радиогеохимической особенностью магматизма геосинклинальной стадии развития подвижных зон земной коры является тождественный характер поведения урана и тория и слабое накопление элементов в конечных продуктах магматической дифференциации. Инертность урана и тория может быть объяснена низким первичным содержанием элементов в расплаве.

С орогенным периодом развития подвижных поясов связано образование высокорadioактивных интрузий микроклинных гранитов, которые обычно объединяются в ряд гранитоидных формаций.

У позднеорогенных интрузий гранитов, развитых в пределах различных складчатых областей, имеется много общих радиохимических особенностей. В отличие от прочих близких по кислотности пород они характеризуются наиболее высоким содержанием урана и тория, часто значительно превышающем установленный кларк элементов для образований кислого состава (Виноградов, 1962). Другой весьма характерной радиогеохимической особенностью позднеорогенных батолитовых интрузий является некоторое увеличение радиоактивности поздних продуктов магматической дифференциации: лейкократовых мелкозернистых гранитов второй интрузивной фазы, пегматитов и даек пород кислого состава.

Гранитоиды упомянутых интрузий отличаются также весьма неравномерным распределением урана и тория, при этом степень неравномерности уменьшается в поздних продуктах магматической дифференциации. Значительная часть урана и тория в рассматриваемых гранитах сосредоточена в аксессуарных минералах.

Наиболее разнообразными по радиоактивности являются изверженные породы посторогенной стадии развития подвижных поясов и периодов платформенной активизации. Именно с этими породами, резко отличающимися абсолютным содержанием урана и тория и их соотношением, связаны самые существенные провинциальные радиогеохимические особенности регионов. Из магматических образований завершающих стадий подвижных поясов наиболее распространены вулканогенные породы различных фаций глубинности. В развитии вулканизма, протекавшего преимущественно в субаэральных условиях, намечается обычно несколько вулканических ритмов, для каждого из которых характерна закономерная смена излияний лав различного состава и радиоактивности.

Характерной радиогеохимической особенностью позднеорогенных вулканогенных пород различных ритмов и фаций глубинности является значительно более высокий средний уровень содержания урана и тория по сравнению с близкими по кислотности геосинклинальными образованиями. Так, например, позднеорогенные базальтовые, андезитовые и трахиандезитовые порфириты в два—три раза более радиоактивны, чем геосинклинальные породы аналогичной кислотности. Отмеченное обстоятельство не позволяет использовать приводимые в литературе (Виноградов, 1962; Turekian, Wedepohl, 1961) кларки элементов для характеристики пород близкой основности, но возникающих в различные стадии развития земной коры. В связи с этим при определении кларковых содержаний элементов нужно учитывать не только состав магматических образований, но и их формационную принадлежность (табл. 14). Среди вулканогенных пород периода консолидации складчатых структур наиболее радиоактивными являются кислые образования липаритовой формации и щелочные эффузивы.

Таблица 14

Среднее содержание урана и тория в вулканогенных породах основного и кислого состава различных формационных комплексов ( $n \cdot 10^{-4}\%$ )

Порода	Формация и тип структуры земной коры	Уран	Торий	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$
Вулканогенные породы основного состава	«Mohole»-базальт океанических впадин (X) *	0,19	0,23	1,2
	Вулканиты островных дуг Тихоокеанского подвижного пояса (XX)	0,2—0,6	0,4—1,5	2,3
	Диабазо-порфиритовая формация (геосинклинальная) (XX)	0,6	2,0	3,3
	Андезито-базальтовая формация (позднегеосинклинальная) (XX)	0,9	3,0	3,3
	Андезито-дацитовая формация (позднеорогенная) (XX)	1,5	6,0	4,0
Вулканогенные породы кислого состава	Кератофировая геосинклинальная формация (XX)	1,8	4,0	2,2
	Липаритовая позднеорогенная формация (XXX)	4,7	19,0	4,0
	Вулканиты Тихоокеанского подвижного пояса (X)	2,1	5,7	2,7
	Вулканиты Средиземноморского подвижного пояса (X)	10—15	30—35	2,5—3,0

\* См. сноску к табл. 11.

В процессе развития позднеорогенного липаритового вулканизма отмечаются некоторые специфические особенности поведения радиоактивных элементов, не характерные для предшествующих стадий проявления магматизма. В частности, не устанавливается увеличения радио-

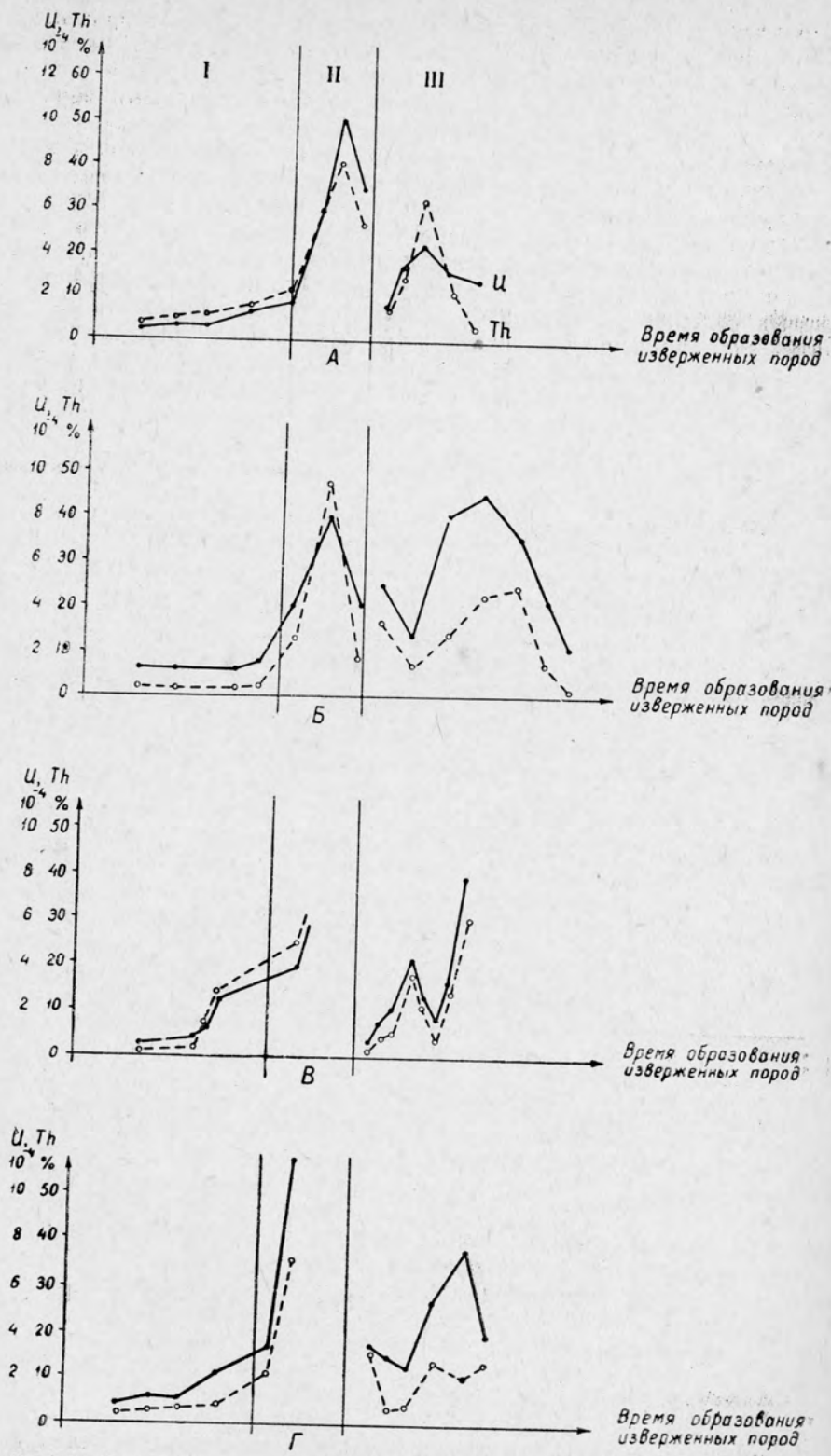


Рис. 33. Поведение урана и тория в ходе развития магматизма палеозойских подвижных зон (А, Б, В и Г) земной коры.  
 I — геосинклинальный период (преимущественно вулканогенные породы основного и среднего состава); II — орогенный период (калиевые граниты формации батолитовых гранитоидов); III — позднеорогенный период (преимущественно вулканогенные породы андезитового, дацитового и липаритового состава, малые интрузии гранитов и других пород).

активности эффузивных и интрузивных разностей наиболее поздних магматических ритмов по сравнению с более ранними образованиями (Дворцова, Горцевский, 1963).

С завершающими стадиями развития подвижных поясов связано также формирование сложных в радиогеохимическом отношении малых интрузий гранитов, сиенитов и других пород.

Близкие по составу слагающих пород массивы позднеорогенных комплексов даже в пределах относительно небольших регионов часто резко отличаются металлогенической специализацией и радиоактивностью. При этом наиболее существенные различия намечаются в породах гранитных формаций малых глубин, для которых установить средние параметры содержания элементов практически невозможно. Среди этих пород весьма распространенными являются существенно ториеносные и ураноносные интрузии гранитов с резко повышенным (до 7—10 и более) или пониженным (до 1—3) Th/U отношением. Характерно, что в данных породах некоторая, иногда значительная часть урана и тория связана с урано-ториевыми минералами (браннеритом) или другими аксессуориями с очень высоким содержанием радиоактивных элементов (монацитом, циртолитом, колумбитом). Как специфическую радиогеохимическую особенность позднеорогенных гранитных интрузий можно отметить обогащение ураном и торием пород эндоконтактных частей массивов (Gross, 1952; др.).

Наиболее поздними проявлениями магматизма в пределах многих складчатых областей являются дайки пород основного и среднего состава с присущим им низким Th/U отношением, а также вулканогенные породы и гипабиссальные интрузии гранитоидов, возникающие в период тектоно-магматической активизации. Вулканогенные и интрузивные породы кислого состава этого периода развития отличаются повышенным содержанием урана (до  $4,5-10 \cdot 10^{-4}\%$ ) и особенно тория (до  $30-60 \cdot 10^{-4}\%$ ) и достаточно высоким Th/U отношением (рис. 33).

В целом в поведении радиоактивных элементов в ходе развития магматизма докембрийских, палеозойских и мезозойских подвижных поясов намечается наличие нескольких (двух и более) радиогеохимических ритмов, для которых характерно постепенное увеличение содержания урана и тория в более молодых породах (рис. 33). Каждый радиогеохимический ритм отражает закономерную схему состава пород от основных к кислым и является следствием общей направленности развития магматизма подвижных зон, которую Ю. А. Билибин (1955) связывал с миграцией области питания магматических очагов в пределах «базальтового» и «гранитного» слоев земной коры. Первый наиболее продолжительный ритм охватывает породы геосинклинали и орогенного периода развития подвижных поясов. С более поздними (позднеорогенными и активизационными) проявлениями магматизма связано наличие одного или нескольких радиогеохимических ритмов.

### *Региональный метаморфизм*

В глубинных зонах проявления эклогитовой, высшей и низшей гранулитовых фаций метаморфизма породы различного первичного состава и происхождения содержат очень низкие количества урана и тория. Так, например, в гнейсах, амфиболитах, кварцитах, кристаллических сланцах, возникших в результате метаморфизма вулканогенных и осадочных отложений в зонах проявления эклогитовой и гранулитовой фаций, почти повсеместно содержание тория составляет в среднем  $4,0-6,0 \cdot 10^{-4}\%$ , а урана  $0,9-1,2 \cdot 10^{-4}\%$ . Радиоактивность метаморфических пород увеличивается по мере уменьшения степени метаморфизма и достигает максимума в зонах проявления эпидот-амфиболитовой (торий) и зеленосланцевой (уран) фаций (табл. 15). Увеличение содержа-

Содержание урана и тория в породах различных фаций метаморфизма ( $л \cdot 10^{-4}\%$ )

Порода	Зеленосланцевая фация			Эпилот-амфиболитовая фация			Амфиболитовая фация			Нижняя гранулитовая фация		
	Уран	Торий	$\frac{Th}{U}$	Уран	Торий	$\frac{Th}{U}$	Уран	Торий	$\frac{Th}{U}$	Уран	Торий	$\frac{Th}{U}$
Амфиболиты, амфиболовые сланцы (X) . . .	—	—	—	1,2	4,0	3,3	0,9	4,5	0,9	—	—	—
Кварциты (X) . . .	2,3	8,0	2,8	—	—	—	—	—	—	0,9	4,0	4,4
Кристаллические слюдяные сланцы (XX) . . .	4,5	10,0	2,2	2,3	13,0	5,6	2,1	6,0	2,9	1,2	4,0	3,3
Гнейсы (XX) . . .	—	—	—	3,9	24,6	6,1	2,0	9,4	4,7	0,9	4,1	4,5

ния урана и тория в верхних зонах метаморфических толщ на фоне резко пониженной радиоактивности пород более глубоких уровней земной коры позволяет высказать вполне обоснованное предположение о перемещении урана и тория снизу вверх. Миграция урана и тория из первичноосадочных или вулканогенных пород, подвергшихся метаморфизму, происходила, по-видимому, в результате вскрытия кристаллических решеток минералов и перевода элементов в миграционно способную форму в виде силикатных, фторидных и карбонатных комплексных соединений. Миграция элементов при региональном метаморфизме пород приводит не только к возникновению определенной радиогеологической зональности метаморфических толщ, но, по-видимому, и к существенному изменению формы нахождения урана и тория и увеличению неравномерности их распределения в верхних горизонтах. Имеющиеся пока еще немногочисленные данные свидетельствуют о том, что в продуктах метаморфизма амфиболитовой и гранулитовой фаций уран содержится преимущественно в труднорастворимой форме, а в породах зеленосланцевой фации — в основном в хорошо растворимых соединениях.

### Гидротермальный метаморфизм

Вопросы геохимии урана в гидротермальном рудообразующем процессе — форма переноса элемента, взаимодействие ураноносных гидротермальных растворов с вмещающими породами, отложение полезных компонентов в благоприятной физико-химической обстановке и т. д. — освещены в литературе достаточно детально и в настоящей работе не рассматриваются.

Вместе с тем данная область геохимии урана не охватывает всей совокупности факторов миграции элемента и сопутствующих металлов в сложном многостадийном процессе гидротермальной деятельности, проявляющейся в различной термодинамической обстановке и в связи с разнообразными условиями развития тектоно-магматической активности. Эти процессы фиксируются часто на значительных площадях (в том числе и вне рудных полей) в самых разнообразных по составу породах, развиваются очень длительно и почти всегда прямо или косвенно связаны с завершающим этапом миграции рудогенных элементов в гидротермах — рудоотложением. Особенности поведения урана в таких внешних, значительных по размерам зонах метасоматических изменений,

а также на широких площадях гидротермальных преобразований вне-рудных полей освещены в литературе лишь в единичных работах (Леонова, 1963; Минаева, 1965; Гаврилин и др., 1966). Но даже в этих публикациях выделяемые типы гидротермально измененных пород в большинстве случаев не увязаны с определенными фациями глубинности и кислотности — щелочности воздействовавших растворов, что,

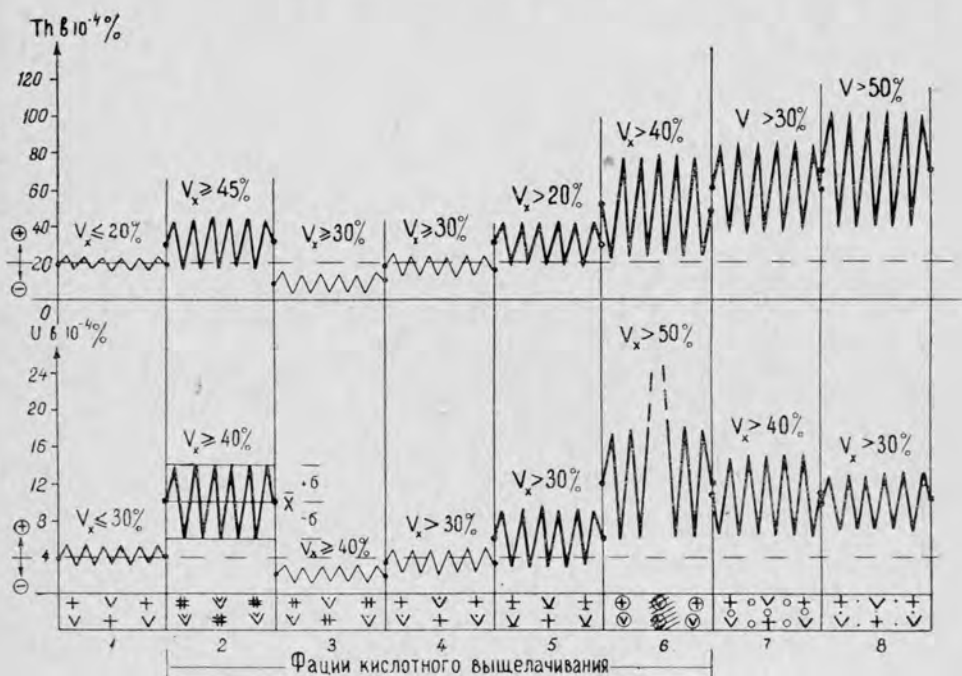


Рис. 34. Соотношение содержания и распределения урана и тория в гидротермально измененных изверженных породах кислотного состава.

1 — неизменные граниты и кварцевые порфиры; 2 — грейзенизированные граниты; 3 — вторичные кварциты и кварц-серпентиновые породы по гранитам и кварцевым порфирам; 4 — слабо измененные серпентизированные граниты, кварцевые порфиры и фельзиты (низкотемпературные приповерхностные площадные изменения); 5 — пропилитизированные граниты и граносиениты; 6 — березитизированные кварцевые порфиры и фельзиты (заштрихована область наиболее интенсивной березитизации — внутренние зоны метасоматической колонки); 7 — гранитоиды, подвергшиеся калиевому метасоматозу; 8 — альбитизированные граниты и граносиениты.

естественно, снижает возможности обобщения материалов и выяснения общих тенденций миграции рудогенных элементов. В связи с этим в настоящее время очень трудно дать сколько-либо полную характеристику поведения урана и тория в общем сложном процессе гидротермального преобразования пород, особенно в том случае, когда имеет место наложение нескольких фаціальных типов изменений.

На основе имеющихся пока еще немногочисленных опубликованных данных и частично материалов автора приведена краткая характеристика поведения урана и тория лишь для отдельных типов постмагматических изменений пород (рис. 34). Сделанные с использованием этих материалов выводы следует рассматривать как сугубо предварительные.

В общем случае при гидротермальных изменениях пород существенно нарушается первичное сравнительно однородное распределение как урана, так и тория.

Наиболее значительное по масштабам перемещение урана и тория наблюдается при процессах кислотного выщелачивания. С наиболее глубинными и высокотемпературными фациями кислотного выщелачи-

вания (грейзенизацией) связано, как правило, увеличение радиоактивности апикальных частей гранитоидных интрузий. При этом в одних случаях наблюдается увеличение концентрации урана и тория, в других — лишь одного урана при резком нарушении степени неоднородности распределения тория. Вместе с тем следует отметить, что увеличение радиоактивности в грейзенах и грейзенизированных породах, по-видимому, не является единственно возможным следствием проявления постмагматического воздействия данного типа. В отдельных случаях в зонах грейзенизации интенсивно мусковитизированные граниты и кварц-мусковитовые жилы имеют пониженную радиоактивность, по сравнению с неизменными породами, главным образом за счет уменьшения содержания тория и, в меньшей степени, урана и калия.

Значительное уменьшение содержания тория связано, по-видимому, с выносом элемента из биотита и других минералов в условиях возрастающей интенсивности метасоматического процесса, когда из пород начинают выноситься Na и K. В целом поведение радиоактивных элементов в зонах грейзенизации зависит от степени изменения породы и не ограничивается, вероятно, только привносом урана и тория совместно с Ta, Nb, Zr, Hf и другими элементами (Гаврилин и др., 1966).

Проявляющиеся в менее глубинных и более низкотемпературных условиях процессы кислотного выщелачивания, с которыми связано формирование вторичных кварцитов и кварц-серицитовых пород, приводят, как правило, к интенсивному извлечению урана и тория, особенно из таких первично обогащенных радиоактивными элементами пород, как граниты и вулканогенные породы кислого состава (фельзиты, кварцевые порфиры и т. д.). Л. Л. Леонова приводит убедительные данные, свидетельствующие о значительном выносе (до 70% от первоначального количества) урана и тория из гранитов при их постмагматическом преобразовании в кварц-серицитовые породы (Гаврилин и др., 1966). При этом перемещение тория является более интенсивным, чем урана. В пределах гранитных массивов такие изменения охватывают сравнительно небольшие площади и часто локализируются в довольно узких зонах вдоль разрывных нарушений. В отличие от этих зон области развития вторичных кварцитов и кварц-серицитовых пород по вулканогенным образованиям более обширны. С их формированием связан либо значительный по масштабам вынос урана и тория, либо локальное перераспределение металлов с некоторым привносом на весьма ограниченных участках. При этом торий наиболее интенсивно выносится в гипабиссальных условиях при образовании вторичных кварцитов, в то время как его содержание в кварц-серицитовых породах меняется значительно слабее.

Существенно иные закономерности миграции урана и тория характерны для двух других типов гидротермальных преобразований пород, относимых к стадии кислотного выщелачивания, — пропилитизации и березитизации. В противоположность кварц-серицитовым изменениям, процессы пропилитизации, протекающие, как правило, в менее кислотных условиях, обычно не приводят к выносу урана. В гранитоидах с пропилитизацией, особенно в зонах гематитизации, связано увеличение радиоактивности главным образом в результате повышения содержания урана и реже тория (Гаврилин и др., 1966). В ряде массивов содержание радиоактивных элементов в пропилитизированных породах сохраняется неизменным. Резко аномальные концентрации урана в пропилитизированных породах связаны обычно с наложением в зонах пропилитизации более поздних собственно рудных процессов. Еще более значительное увеличение содержания урана, а в отдельных случаях и тория фиксируется при околосильном метасоматическом преобразовании пород типа березитизации. Во внешних зонах метасоматически измененных пород (березитизированных гранит-порфирах, фельзитах,

песчаниках и алевролитах, диоритовых порфиритах и других образованиях), охватывающих иногда значительные площади вдоль ослабленных хорошо проницаемых структур и горизонтов, содержание урана увеличивается до  $10-20 \cdot 10^{-4}\%$  и более. В березитизированных кварцевых порфирах, фельзитах и гранитах, отличающихся повышенной радиоактивностью, наряду с ураном увеличивается содержание тория, однако степень этого увеличения, как правило, значительно ниже.

Наиболее измененные разности пород — березиты — часто вмещают промышленную урановую минерализацию, представленную главным образом настураном, где совместно с ураном в аномальных, а иногда и в рудных концентрациях присутствуют молибден, мышьяк, свинец, цирконий, таллий и другие элементы.

Преимущественный привнос урана совместно с торием, танталом, ниобием, редкоземельными и другими элементами отмечается при альбитизации изверженных пород, а также калиевом метасоматозе. С этими процессами связано иногда образование рудных концентраций радиоактивных элементов, интенсивность которого прямо пропорциональна степени изменения пород. Вместе с тем, в литературе описаны примеры, когда альбитизация сиенитов приводит к значительному выносу урана и тория из массива (Гаврилин и др., 1966).

В ходе интенсивного минерального и химического преобразования пород под воздействием наложенных постмагматических процессов происходит не только увеличение или уменьшение абсолютного содержания урана и тория, но и изменение форм нахождения элементов. Так, например, в зонах выноса оставшаяся часть урана в породах представлена трудно извлекаемыми его соединениями (в виде изоморфной примеси в устойчивых минералах — кварце, калишпате и др.), и наоборот, в зонах привноса урана в березитизированных, пропилитизированных и других породах подавляющая часть урана (до 70%) находится в виде легко растворимых, хорошо извлекаемых соединений и связана, вероятно, с выделениями собственно урановых минералов, газовой-жидкими включениями и другими неизоморфными формами.

\* \* \*

Изложенные в настоящем разделе краткие сведения о среднем содержании радиоактивных элементов в горных породах и закономерностях их миграции в ходе развития различных геологических процессов в какой-то степени характерны для многих докембрийских, палеозойских и мезозойских складчатых областей. Вместе с тем, в ряде районов отмечаются и некоторые, иногда существенные отклонения от приведенных выше величин региональных кларков урана и тория.

В качестве примера показаны кларки урана и тория в посторогенных вулканогенных породах кислого состава: кварцевых порфирах, фельзитах, их туфах и т. д. (см. след стр.). Из рассмотренных данных следует, что содержания урана и тория в породах наиболее часто близки к мировому их кларку. Однако радиоактивность фельзитов и кварцевых порфиров некоторых районов выше кларка в два-три и более раз. Так, например, в магматических образованиях некоторых районов наблюдается низкая и однородная радиоактивность, обусловленная слабой миграцией урана и тория в ходе магматической дифференциации регионального метаморфизма.

Наряду с районами, где слабая дифференциация вещества земной коры нашла отражение в однородности радиоактивных свойств горных пород, существуют области, обычно с мощной сиалической оболочкой, в пределах которых липариты и многие другие типы магматических образований содержат уран и торий в количестве, значительно превышающем кларк.

**Содержание урана и тория в кварцевых порфирах, фельзитах и их туфах липаритовой и липарито-дацитово-вой формаций посторогенной стадии развития подвижных поясов и периода платформенной активизации ( $n \cdot 10^{-4} \%$ )**

Возраст эффузивов	Уран	Торий	Th U
<i>Регионы с нормальным (кларковым) содержанием урана и тория</i>			
D <sub>1-2</sub>	4,6	28,0	6,1
Cr	4,5	22,0	4,9
D <sub>1-2</sub>	4,0	19,0	4,7
D <sub>1-2</sub>	4,8	18,8	3,9
	5,0	16,0	3,2
D — C	5,2	—	—
D <sub>1-2</sub>	4,8	—	—
D <sub>1-2</sub>	4,9	—	—
D <sub>1-2</sub>	5,3	11,4	2,1
Среднее по кислым эффузивам	4,7	19,0	4,0
<i>Регионы с пониженным содержанием урана и тория</i>			
D <sub>1-2</sub>	2,7	9,0	3,3
	2,4	—	—
C	1,5	—	—
P — C	1,4	—	—
N	2,1	5,7	2,7
<i>Регионы с аномально высоким содержанием урана и тория</i>			
PrZ <sub>2</sub>	10,1	30,1	3,0
P	8,8	32,0	3,6
N	12,0	34,0	2,8

В связи с этим при постановке наземных радиогеохимических исследований, а также аэрогаммаспектрометрических работ следует учитывать индивидуальные радиогеохимические особенности отдельных регионов. Данные о региональных кларках урана и тория и специфических особенностях поведения радиоактивных элементов в пределах отдельных районов могут быть почерпнуты в статьях периодической печати и отчасти в некоторых сводных работах (Материалы о содержании и распределении... , 1963; Таусон, 1961; Гаврилин и др., 1966; др.).

### Гипергенез

Миграционная способность урана и тория в условиях нормальных температур и давлений зоны гипергенеза весьма различна. Об этом свидетельствует неодинаковое положение урана и тория в теоретическом ряду подвижности химических элементов и резко отличающиеся значения коэффициента водной миграции, отражающего степень мобильности элемента по отношению к главному агенту химического преобразования горных пород — воде.

Поведение в зоне гипергенеза тория, относящегося к очень слабым катионам, определяется интенсивностью механического выветривания горных пород. В зоне гипергенеза торий накапливается в коре выветривания обычно в форме устойчивых к разрушению акцессорных минералов, что приводит в ряде случаев к существенному увеличению Th/U отношения в рыхлых образованиях.

В отличие от тория, уран подвержен более существенному перераспределению в зоне гипергенеза. Это связано, прежде всего, с окислением урана до шестивалентного состояния и возникновением устойчивых в водных растворах окислительной обстановки уранилкарбонатных и других комплексов. Миграция урана резко снижается в восстановительной обстановке. В связи с такими особенностями поведения урана, боль-

шое значение имеет наличие восстановительных или иных геохимических барьеров, что обуславливает ярко выраженную контрастность миграционной способности элемента в различных ландшафтно-геохимических обстановках. Вопросы миграции урана в различных ландшафтах подробно рассмотрены в работах А. И. Перельмана и др. (1966) и многих других авторов. Здесь можно лишь подчеркнуть, что с процессами гипергенного перераспределения урана и радия связано возникновение как ореолов и потоков рассеяния в определенных горизонтах коры выветривания и рыхлых отложениях, так и большого количества ложных ореолов концентраций урана, в большинстве своем не связанных с месторождениями. Так, например, в условиях сухого аридного климата интенсивно метаморфизованные подземные воды с достаточно высокой общей минерализацией и аномальным содержанием урана ( $n \cdot 10^{-6}$  —  $n \cdot 10^{-4}$  г/л) в результате поднятия по капиллярам и испарения отлагают уран совместно с селеном, молибденом и другими элементами в грунтах и почвах (эвапорационные аномалии). В результате испарительной концентрации поверхностных вод также происходит их интенсивное обогащение ураном (до  $n \cdot 10^{-4}$  г/л) и образование потоков рассеяния урана в илесто-глинистых отложениях рек и логов.

Таким образом, характерной особенностью засушливых (аридных) районов является аккумуляция урана в супераквальных почвах, грунтовых и поверхностных водах и резко выраженная контрастность распределения элемента в коре выветривания и рыхлых отложениях. В этих условиях выбор представительного горизонта опробования для поисков урановых месторождений по вторичным ореолам рассеяния и анализ получаемых результатов представляются наиболее сложными.

В гумидных зонах образуются ландшафты, в которых почвы и коры выветривания горных пород резко обеднены ураном и радием за счет их интенсивного выноса грунтовыми водами в речную сеть. По сравнению с аридными зонами, в областях гумидного климата рыхлые отложения и воды содержат значительно меньшее количество урана и радия. Часть из этих элементов может сорбироваться илесто-глинистыми отложениями рек и торфяниками. В этих условиях вокруг урановых месторождений формируются широкие и интенсивные потоки рассеяния в водах, аллювии и торфяниках. Процессы выветривания в горных породах в аридных и гумидных зонах приводят к нарушению нормальных равновесных соотношений между элементами.

В слабо измененных процессах выветривания осадочных, магматических и метаморфических породах, по данным автора, а также материалам опубликованных работ (Старик, Крылов, 1960; Атрашенок, Крылов, 1963), в большинстве случаев наблюдаются равновесные соотношения между ураном, радием и другими продуктами распада. Как видно на приведенном графике (рис. 35), из большой группы изученных в пределах складчатой области горных пород только в кварцевых порфирах и фельзитах липаритовой формации отклонения от равновесных соотношений между ураном и радием (в сторону избытка урана) превышают ошибки аналитических определений элементов. Наиболее существенные нарушения равновесия в урано-радиевом ряду связаны с процессами выветривания горных пород. Последнее наиболее отчетливо проявляется в хорошо проницаемых осадочных отложениях, а также в гидротермально измененных породах, в которых отмечаются как избыток радия (Атрашенок, Крылов, 1963), так и его недостаток. Элементы ториевого ряда в большинстве своем находятся в горных породах в соотношениях, близких к равновесным.

Применение геохимических методов при крупномасштабном специализированном геологическом картировании локальных площадей заключается в изучении рассмотренных выше закономерностей распро-

странения и поведения урана, тория и сопутствующих элементов применительно к конкретному району исследований.

Эти закономерности могут быть использованы при решении ряда вопросов, главными из которых являются следующие:

1. Поиски месторождений радиоактивных руд на основе выделения прямых геохимических поисковых признаков оруденения.

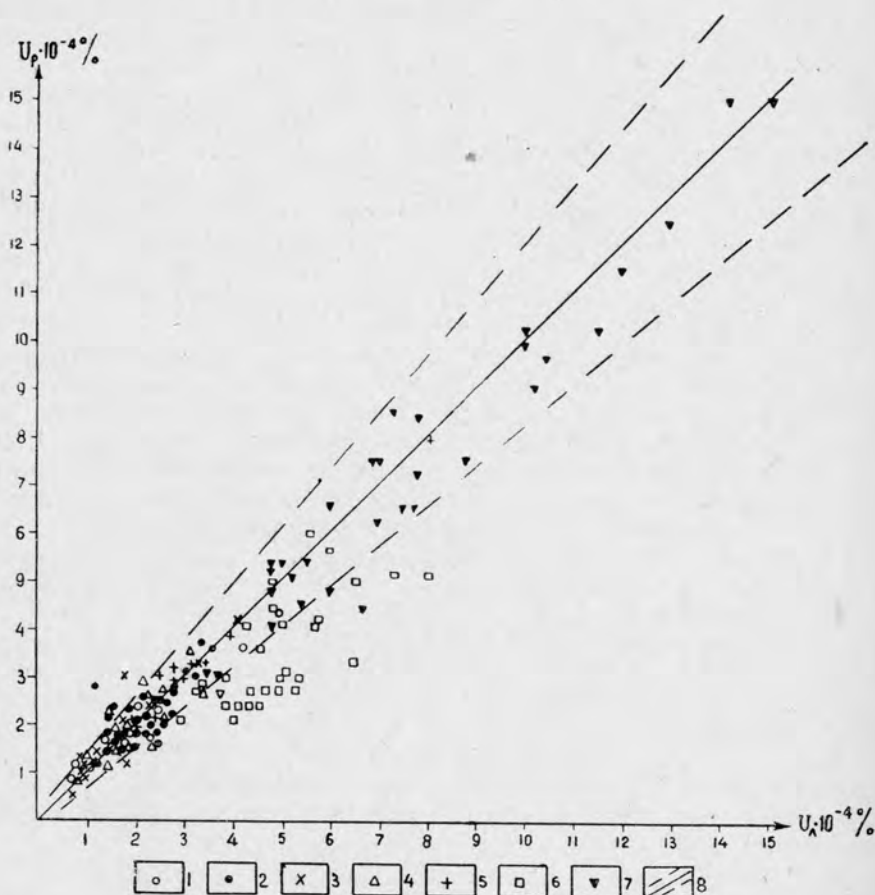


Рис. 35. Соотношение урана ( $U_n$ ) и радия ( $U_p$ ) (в единицах эквивалентного урана) в горных породах палеозойской складчатой области (климат аридный, рельеф слабо всхолмленный).

1 — известняки; 2 — песчаники, алевролиты; 3 — габбро-диориты, порфириты, диориты (жильные); 4 — кварцевые диориты, гранодиориты; 5 — андезитовые порфириты; 6 — вулканогенные породы кислого состава; 7 — граниты; 8 — область аналитических ошибок.

2. Прогнозирование перспективных для выявления уранового оруденения локальных площадей по наличию прямых и косвенных поисковых геохимических признаков.

3. Получение объективной информации о региональных и локальных геохимических характеристиках (кларковых содержаниях, концентрации и рассеянии урана и тория, их ассоциациях с другими элементами и т. д.). Установление на основе этого геохимической специализации геологических формаций и комплексов пород.

4. Выявление зависимости локализации уранового оруденения от геохимических характеристик геологических образований, установление минералого-геохимических критериев рудоносности геологических структур.

5. Помощь геологической съемке, в особенности при корреляции и расчленении немых осадочных толщ, сложно дифференцированных интрузивных комплексов и т. д.

6. Изучение особенностей миграции урана, тория и элементов-спутников при региональном и гидротермальном метаморфизме пород. Исследование гидротермально-метасоматической зональности и положения по отношению к ней уранового и ториевого оруденения.

7. Ландшафтно-геохимическое районирование с целью установления наиболее эффективного и рационального комплекса поисковых методов и т. д.

Ниже кратко рассмотрены некоторые вопросы методики применения различных видов геохимических исследований в зависимости от объектов опробования.

### ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

В последние годы при поисках урановых месторождений и металлогенеском районировании различных масштабов значительно увеличились объемы опробования горных пород по коренным обнажениям и керну скважин с целью сравнительного изучения геохимических особенностей осадочных отложений, магматических и метаморфических образований и выделения наиболее важных прямых и косвенных признаков ураноносности по, так называемым, первичным ореолам \* повышенных концентраций урана и сопутствующих элементов. В ходе литохимических исследований по коренным обнажениям, керну скважин и представительным элювиально-делювиальным высыпкам производится изучение распределения урана, тория и сопутствующих элементов в наименее измененных процессах выветривания горных породах. Важным заключительным этапом этих исследований является составление геохимических карт, отражающих закономерности распределения и миграции элементов в горных породах, а также прямые и косвенные поисковые признаки уранового оруденения.

В соответствии с представлениями А. Е. Ферсмана (1939), геохимические карты могут быть полиэлементными (общими) и моноэлементными (частными). Полиэлементные геохимические карты, показывающие распределение в горных породах широкой гаммы рудогенных элементов или их ассоциаций, имеют большое значение при металлогенеском районировании территории и выяснении ее потенциальной рудоносности (Капков, Квятковский, Яковлев, 1966; Казмин, Орлов, 1966; др.). Применительно к поискам и прогнозированию месторождений радиоактивных руд такие карты могут оказать существенную помощь при установлении элементов-индикаторов и сопутствующих металлов уранового оруденения. Однако большое количество информации, показываемой на общих геологических картах, не позволяет отразить с необходимой полнотой особенности распределения и миграцию отдельных элементов. В связи с этим многие важные для поисков и прогнозирования закономерности пространственного распределения основных рудных металлов могут быть правильно поняты лишь с помощью частных поэлементных карт, составляемых на основе уточненных полуколичественных или количественных анализов. Именно частные геохимические карты могут представлять наибольший интерес при постановке специализированного

\* Термин «первичный ореол рассеяния» не совсем удачен, так как ореолы, существующие вокруг рудных тел, могут быть первичными (сингенетическими) по отношению к рудам, но вторичными по отношению к вмещающим породам, несущим эпигенетическое оруденение. Правильнее говорить о сингенетических с оруденением геохимических ореолах элементов вокруг рудных тел, размеры которых являются чисто условными, так как определяются существующими промышленными кондициями.

на определенный тип минерального сырья геологического картирования м-ба 1 : 50 000. Такими картами могут быть карты радиогеохимические, методика составления которых, по сравнению с частными картами на другие элементы, имеет ряд специфических особенностей, вытекающих из своеобразия геохимических свойств урана и тория и связанной с этими металлами естественной радиоактивности. Радиогеохимическое картирование горных пород включает постановку следующих главнейших видов работ (в порядке последовательности их проведения):

1. Опробование горных пород, гамма-спектрометрические и другие полевые радиометрические наблюдения.

2. Лабораторные анализы горных пород для определения содержания радиоактивных и сопутствующих элементов, их изотопного состава, формы нахождения и т. д.

3. Математическая обработка результатов исследований.

4. Построение и анализ радиогеохимических карт с выделением перспективных по геохимическим данным структур и локальных площадей.

Опробование горных пород, гамма-спектрометрические и другие полевые измерения с целью сбора информации, необходимой для последующего составления геохимических карт, должны производиться одновременно с геологической съемкой м-ба 1 : 50 000, что позволит обеспечить геологическую направленность работ, целеустремленный отбор каменного материала и в дальнейшем его тщательное петрографическое и минералогическое изучение.

Сопоставимость результатов геохимических исследований горных пород и возможность их использования для последующей математической обработки во многом зависит от идентичности условий отбора проб. При опробовании горных пород необходимо соблюдение определенных размеров площади взятия пробы. Нарушение этого условия может существенно повлиять на оценку неоднородности распределения микроэлементов в горных породах и внести дополнительные ошибки в значения коэффициента вариации, учесть которые практически невозможно. При изучении радиоактивности горных пород в качестве эталонной площади взятия пробы наиболее целесообразно использовать поверхность коренных обнажений размером 1 кв. м. Ограничение площади взятия пробы одним квадратным метром обусловлено необходимостью сопоставления данных опробования с результатами гамма-спектрометрии и другими радиометрическими измерениями, эффект которых зависит в основном от радиоактивных элементов, сконцентрированных в объеме породы, ограниченном с поверхности примерно 1 кв. м. При геохимическом изучении скважин объектом опробования является интервал керна равный 1 м. С площади 1 кв. м или 1 м керна из однотипных пород отбирается точно-валовая (кусовая) проба весом 0,2—0,5 кг (геохимическая) или более (1,5—10 кг) — минералогическая, состоящая из 5—15 равномерно отобранных с площади кусков породы, наименее измененных процессами выветривания. Минимальный вес проб (0,2 кг), как показывали опытные работы, является вполне представительным для характеристики среднего содержания элементов в горных породах на площади 1 кв. м.

Отступление от указанного способа опробования может быть допущено при отсутствии значительных по размерам естественных обнажений при плохом выходе керна, а также при изучении разрезов осадочных отложений с частым чередованием маломощных прослоев литологических разностей и в некоторых других случаях. Результаты определения микроэлементов в таких пробах не должны учитываться при подсчете среднеквадратического стандартного отклонения, коэффициента вариации и установлении функций распределения. Взятие проб в по-

давляющем большинстве случаев должно сопровождаться отбором образца и шлифа.

Все отобранные в процессе радиогеохимического картирования пробы проходят подготовку к анализу, которая заключается в дроблении (до 0,25 мм — геохимические пробы, 0,5 мм — минералогические), перемешивании и квартовании протолок, их сокращении и истирании. В процессе дробления недопустимо чередование проб из слабо радиоактивных пород с рудными пробами, для чего еще на этапе опробования нужно производить их тщательное группирование по радиоактивности.

Обработку протолок минералогических проб для выделения и изучения аксессуарных минералов целесообразно проводить по методике, предложенной А. В. Рабиновичем (1955) и Б. К. Львовым (1963). Кроме детального количественного минералогического изучения пробы, эта методика предусматривает отделение части протолок для последующего выполнения химического, спектрального и других анализов. В процессе минералого-геохимического изучения горных пород, наряду с аксессуарами, необходимо не менее тщательное исследование породообразующих минералов, с которыми связана значительная часть рассеянных в породе радиоактивных элементов.

В площадном геохимическом картировании горных пород большое значение имеют новые ядерно-физические методы определения содержания микроэлементов в горных породах без отбора проб (*in situ*). С этой целью для изучения содержания естественных радиоактивных элементов начинают широко применяться различные виды гамма-спектрометрических съемок (воздушная, автомобильная, пешеходная) как с использованием многоканальных анализаторов типа АМ-100 «Радуга» (Василенко и др., 1963), так и с более портативной малоканальной гамма-спектрометрической аппаратурой (Соколов и др., 1964).

В основе гамма-спектрометрического метода (ГСМ) отдельного количественного определения радия, тория и калия лежит различие спектрального состава гамма-излучения уранового и ториевого семейства и  $K^{40}$ . Определение концентрации радиоактивных элементов *in situ* наиболее просто может быть произведено на основе сравнения интенсивности гамма-излучения в определенных участках спектра от моделей и исследуемых горных пород с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра (СП-3 \* или иного). Проверка данных гамма-спектрометрических определений \*\* выполняется путем их сравнения с результатами лабораторных анализов проб, отбираемых с площади 1 кв. м в количестве 10—20% от общего числа физических точек.

Сопоставление результатов анализов и гамма-спектрометрических измерений производится с помощью корреляционных графиков и уравнений регрессии, по которым определяются систематические и случайные ошибки. В случае наличия систематических ошибок, обусловленных недостаточной надежностью градуированием спектрометров, неточностью определений остаточного фона, эманированием горных пород или другими причинами, во все измерения вводятся соответствующие поправки. Величина случайных ошибок гамма-спектрометрических определений составляет 30—40% и больше при низких концентрациях радиоактивных элементов ( $< 1,5 \cdot 10^{-4}$ % радия и тория,  $< 0,5$ % калия) и 10—20% при более высоких содержаниях. Примерно такой же уровень случайных ошибок характерен для многих лабораторных методов анализа

\* Описание общего принципа работы радиотехнических узлов прибора и методика измерений даны Хитевым и Федоровым (1965).

\*\* Гамма-спектрометрические наземные измерения целесообразно производить в строго определенных геометрических условиях (плоские выходы коренных пород площадью  $\geq 1$  кв. м), спустя 3—4 часа после выпадения атмосферных осадков.

этих элементов. Для достижения более высокой точности определений содержания радия, тория и калия следует увеличить время измерений.

При радиогеохимическом картировании горных пород значительную помощь могут оказать также результаты аэрогаммаспектрометрических исследований, представляемых обычно в виде карт концентраций радия, урана, тория и калия. Анализ этих карт позволяет определять природу радиометрических аномалий и устанавливать общие особенности распределения радиоактивных элементов в некоторых типах горных пород (гранитах, липаритах, гнейсах и т. д.), отличающихся наиболее высоким кларком урана и тория.

Методика аэрогаммаспектрометрических работ, геологическая и геохимическая интерпретация результатов для поисков и прогнозирования месторождений радиоактивных руд изложены в целом ряде работ (Василенко и др., 1963; Аэрогаммаспектрометрический метод..., 1967; др.). Этот метод открывает новые перспективы в изучении радиоактивности земной коры и металлогеническом районировании.

Следует учесть, что на участках слабо обнаженных, при сочетании различных по площади выходов горных пород и задернованных участков возможности аэрогаммаспектрометрии весьма ограничены. В этом случае, учитывая несоответствие радиоактивности коренных горных пород и перекрывающих их рыхлых отложений, результаты аэрогаммаспектрометрических исследований могут оказаться фиктивными, не соответствующими содержанию радиоактивных элементов ни в тех, ни в других образованиях. Лишь при значительных размерах (более 0,5—1 км) сплошных выходов горных пород, встречающихся сравнительно редко, данные аэрогаммаспектрометрии могут объективно отражать распределение радия, тория и калия в геологических объектах. В большинстве же случаев физические гамма-поля различного энергетического состава, получаемые в ходе аэрогаммаспектрометрической съемки, нельзя отождествлять с геохимическими полями, существующими в конкретных литологических средах, так как результаты аэрогаммаспектрометрии обязаны суммарному воздействию целого ряда факторов — распределению радиоактивных элементов в горных породах, степени обнаженности района, характеру миграции элементов при разрушении горных пород и т. д. Поэтому геологическая и геохимическая интерпретации результатов аэрогаммаспектрометрии должна учитывать данные о разрушении горных пород, обнаженности района и закономерностях миграции радиоактивных элементов в зоне гипергенеза.

Весьма важной и сложной задачей является определение необходимого количества проб, выбор рациональной схемы опробования и комплексирование различных методов.

При выборе густоты сети геохимического опробования горных пород для целей металлогенического районирования следует учитывать необходимость изучения пространственных особенностей первичноконституционального распределения элементов и выявления аномальных зон (зон привноса и выноса урана, эндогенных ореолов и т. д.) — поисковых признаков рудоносных структур и месторождений. Поэтому плотность опробования рекомендуется рассчитывать, исходя из количества проб, необходимых не только для фиксации указанных геохимических аномальных зон, но и для получения основных параметров распределения элементов в их пределах с определенной точностью. В этом случае требуемое число проб может быть вычислено по известной формуле, широко используемой при разведке месторождений и отчасти при геохимических исследованиях:  $n = \frac{v^2}{p^2}$ , где  $v$  — коэффициент вариации содержания элемента в породе в %,  $p$  — точность определения среднего в %.

При крупномасштабном геохимическом картировании густота опробования должна определяться размерами (2,0—4,0 км × 0,2—1,0 км) зон привноса элементов (площадных ореолов повышенных концентраций). Исходя из опыта работы и расчетных данных, густота сети опробования горных пород при радиогеохимическом картировании м-ба 1 : 50 000 составляет в среднем 1000 × 500 м. Расположение и количество проб может существенно изменяться в зависимости от особенностей геолого-геохимической обстановки и результатов предшествующих радиометрических и геохимических исследований. Так, например, при изучении массивов интрузивных образований геохимические маршруты необходимо располагать вкрест простирания слагающих их фациальных разновидностей пород со сгущением проб вблизи контактов. В однородных по составу интрузиях при отборе проб следует учитывать характер гамма-поля. Некоторое разрежение сети опробования возможно только при наличии близких значений гамма-активности пород, поскольку даже в фациально однородных массивах часто отмечается крайне неравномерное распределение элементов.

С особой тщательностью должны изучаться дайки, с которыми в ряде районов наиболее тесно во времени и пространстве связаны гидротермальные урановые месторождения.

При геохимическом картировании вулканогенных образований целесообразно применять пересечения вкрест простирания пород. Наиболее тщательному изучению со сгущением сети опробования должны подвергаться вулканические аппараты, в том числе и их периферические зоны, где интенсивно проявлены разрывная тектоника, дайки, гидротермальная проработка пород.

Опробование фациально однородных осадочных отложений, отличающихся равномерной радиоактивностью, может проводиться по несколько разреженным профилям вкрест простирания пластов. Увеличение плотности опробования необходимо лишь при частом чередовании литологических разностей осадочных отложений и прослеживании по простиранию горизонтов с повышенным или неравномерным распределением радиоактивных элементов. Кроме этих пород, в процессе радиогеохимического картирования специальному прослеживанию по простиранию и детализации должны подвергаться зоны тектонических нарушений, различные жильные образования и участки, в пределах которых горные породы подверглись гидротермальному метаморфизму. Последнее больше всего относится к районам широкого развития вулканогенных образований липаритовой и других посторогенных формаций, в которых гидротермальный метаморфизм проявлен наиболее широко и интенсивно.

Помимо указанных выше, детализации должны подвергаться участки, расположенные вблизи известных урановых рудопроявлений и месторождений.

Все виды опробования при радиогеохимическом картировании горных пород следует проводить с учетом особенностей геологического строения районов и характера гамма-поля или данных полевой гамма-спектрометрии. При этом совершенно обязательным является использование гамма-измерений непосредственно в процессе опробования горных пород с непрерывным фиксированием изменения фона гамма-излучения по всем геохимическим профилям.

Большое значение при геохимическом картировании горных пород имеет правильное, рациональное сочетание опробования горных пород и различных модификаций гамма-спектрометрии. Опыт показывает, что аэрогаммаспектрометрическая съемка должна предшествовать всем остальным видам более детальных геохимических исследований. Одним из условий успешного применения аэрогаммаспектрометрии для изучения радиоактивности горных пород является ее комплексирование с ге-

олого-геоморфологическими и геохимическими исследованиями с целью привязки фиксируемых с воздуха физических полей к конкретным литологическим средам. Наземные гамма-спектрометрические измерения с обязательным отбором контрольных проб целесообразно проводить совместно с геохимическим опробованием горных пород в ходе специализированного крупномасштабного геологического картирования или прогнозно-тематических исследований. Количество отбираемых проб, включая контрольные, на обнаженных участках обычно не превышает 20—30% от общего числа точек гамма-спектрометрических измерений. На площадях развития элювиально-делювиальных отложений достаточно надежным методом является лишь непосредственное опробование горных пород по элювиально-делювиальным высыпкам, искусственным обнажениям и керну скважин.

Внедрение методов полевой гамма-спектрометрии не исключает производства значительного количества лабораторных анализов для определения содержания радиоактивных элементов в горных породах. Одним из существенных требований, предъявляемых к качеству аналитических определений радиоактивных элементов, является высокая чувствительность и точность анализа, величина которых должна на порядок превышать кларк урана и тория в наиболее распространенных типах горных пород. В настоящее время этому требованию в полной мере удовлетворяют люминесцентный, радиохимический, колориметрический и отчасти радиометрический и рентгеноспектральный методы (табл. 16).

Таблица 16

**Сравнительная оценка ошибок определения радиоактивных элементов в различных интервалах содержаний**

Люминесцентный метод В. С. Быковой		Радиохимический и колориметрический методы				
Уран		Радий		Торий		
Интервалы содержаний, $\mu\text{г}/\text{г}$	Относительные ошибки опре- делений в указанных интервалах, %	Интервалы содержаний, $\mu\text{г}/\text{г}$	Относительные ошибки опре- делений в указанных интервалах, %	Интервалы содержаний, $\mu\text{г}/\text{г}$	Относительные ошибки определения в указанных интервалах, %	
					Радио- химия	Колоримет- рия
0,1—1,0	10—20	0,3—0,5	20—25	1—3	50	10—15
0,1—3,0	5—15	0,5—1,5	10—15	3—5	15—20	5—10
3,0—10,0	5—10	1,5—3,0	5—10	5—15	5—10	5
10,0—25,0	10—15	—	—	15—30	5	5
25,0—100,0	10—15	—	—	30—50	5—10	5

*Примечание:* подчеркнуты кларковые интервалы.

Из многочисленных модификаций люминесцентного анализа урана наиболее производительным и пригодным для подавляющего большинства типов горных пород является метод, разработанный В. С. Быковой (Быкова, 1955; Новиков, Капков, 1966).

Кларковые концентрации тория в горных породах длительное время определялись радиохимическим методом (Чайкин, Гумбар, 1956). Для производства массовых анализов горных пород на торий с большим успехом может быть использован разработанный в последние годы колориметрический метод с арсеназо-III, отличающийся более высокой производительностью и точностью (Вольнец, 1960). Из радиометрических лабораторных методов, которые еще не могут конкурировать с физико-химическими определениями, заслуживает наибольшего внимания гамма-спектрометрический анализ и  $\alpha$ -измерения порошковых проб в комбинации с люминесцентным анализом.

Изучение закономерностей пространственного распределения радиоактивных элементов в горных породах и рудах невозможно без широкого применения методов математической статистики. В литературе имеется большое количество работ, в которых предложены различные способы математической обработки геохимических данных, дающие совершенно неравноценные по эффективности и смещенности оценки среднего содержания и других параметров (Разумовский, 1962; Шарапов, 1965 и др.).

Существенным моментом с математической обработке результатов геохимических исследований является выяснение закона распределения элементов в горных породах. На основании многочисленных количественных определений (с точностью 5—15%) содержания радиоактивных элементов удалось установить, что для пород, формировавшихся в однородной геохимической обстановке (отдельные разновидности осадочных отложений и эффузивы геосинклинальной стадии развития подвижных поясов и др.) и не подверженных воздействию наложенных процессов, наиболее типичными являются нормальные функции распределения и относительно невысокие коэффициенты вариации ( $V=30\%$ ). Для интрузивных, метаморфических и других пород, сформированных в более неоднородных тектонических и геохимических условиях (периоды консолидации складчатых структур и главных фаз складчатости и т. д.), характерны обычно асимметричные эмпирические кривые распределения микроэлементов и коэффициенты вариации равные 30—50%. Такие кривые в большинстве случаев могут быть сведены к логнормальному виду. Логарифмически нормальное распределение радиоактивных и других редких элементов с более высокими значениями коэффициентов вариации ( $V>50-60\%$ ) наблюдается чаще всего в измененных гидротермальными или другими процессами породах и рудах.

Зависимость вида эмпирических кривых распределения элементов от геохимических особенностей среды, в которой происходило формирование и последующие изменения горных пород, создает принципиальную возможность использования вида функций для расшифровки условий пороодообразования. Одним из путей решения этой проблемы является создание геохимических палеток — нормированных вариационных кривых распределения элементов в различных типах горных пород с учетом условий их образования, степени гидротермального метаморфизма и других факторов. На рис. 36 приведены примеры одного из возможных способов построения подобного рода нормированных по моде вариационных кривых и выделены области, в пределах которых располагаются кривые распределения радиоактивных элементов в породах складчатых областей.

Разнообразие эмпирических функций распределения и их зависимость от степени неоднородности содержания элементов необходимо учитывать также при выборе способа определения параметров и, в первую очередь, среднего содержания.

В настоящее время в качестве оценки среднего содержания при нормальном и логнормальном распределениях наиболее часто используют медиану, определяемую графически по вероятностному трафарету (рис. 37) или по интегральной (кумулятивной) кривой в линейном масштабе (Разумовский, 1962; Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений, 1965). В то же время другие авторы в условиях асимметричного (в том числе и логнормального) распределения рекомендуют в качестве оценки среднего использовать максимально правдоподобную оценку или среднее арифметическое и максимально правдоподобную оценку (Родионов, 1964).

Следует отметить, что наиболее просто определяемая оценка среднего — медиана — является несмещенной и состоятельной лишь в условиях нормального распределения; и хотя эффективность оценки сред-

него по медиане заметно ниже эффективности оценки среднего арифметического, простота графического метода определения параметров и достаточная для практики точность их нахождения позволяют при нормальном законе распределения использовать для нахождения среднего содержания медиану.

В условиях асимметричного, в том числе и логнормального, распределения только среднее арифметическое ( $\bar{X}$ ) и максимально правдоподобная оценка ( $a$ ) остаются самостоятельными и несмещенными оценками среднего содержания (рис. 38).

Анализ кривой  $\frac{\alpha}{Me}$  показывает, что использование медианы ( $X$  ге-

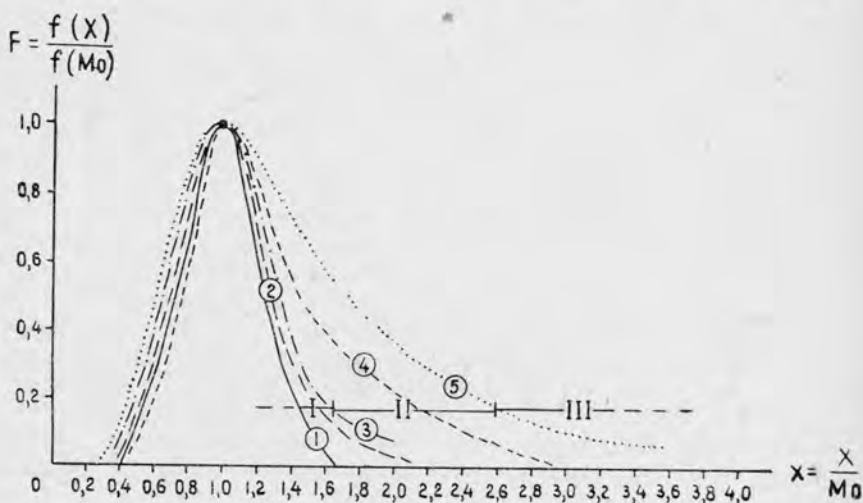


Рис. 36. Нормированные по моде ( $M_0$ ) вариационные кривые распределения урана в горных породах.

1 — зона симметричных нормальных распределений: 1 — базальты трапповой формации, 2 — габбро, 3 — известняки геосинклинальной стадии; II — зона асимметричных (логнормальных) распределений: 4 — грубозернистые песчаники позднеорогенной стадии, 5 — порфировидные биотитовые граниты синорогенных интрузий; III — зона резко асимметричных распределений урана (гидротермально измененные породы, руды).

метрическое,  $\lg \bar{X}$ ) в качестве оценки среднего при логнормальном распределении возможно до значений коэффициента вариации не более 40—50% ( $\lg \bar{X} \leq 0,16-0,2$ ). Возникающая систематическая ошибка в определении среднего содержания в этом случае не превысит 9—12%.

При больших значениях дисперсии распределения несостоятельность и смещенность медианы резко возрастают, в связи с чем ее использование в качестве оценки среднего содержания не представляется возможным. При логнормальном распределении с коэффициентами вариации от 40—50 до 115—120% ( $\lg X > 0,4-0,42$ ) среднее содержание микрокомпонентов в породах следует оценить по среднему арифметическому.

Для определения меры рассеяния микрокомпонентов (степени неоднородности их распределения) наиболее часто используется среднеквадратическое стандартное отклонение содержаний ( $\sigma$ ) или их логарифмов ( $\sigma \lg$ ). Применение этого параметра для сравнения рядов распределения с различным средним содержанием элементов не совсем удобно. Поэтому при сопоставлении степени неоднородности содержания рудогенных элементов в горных породах правильнее пользоваться нормированным значением среднеквадратического отклонения — коэффициентом вариации, который при нормальном распределении величин

равен  $V_x = \frac{x}{\bar{X}}$ , а при логнормальном —  $V_x = \sqrt{10\sigma^2 \lg - 1}$ . В случае логнормального распределения коэффициент вариации содержаний наиболее просто может быть найден графически (рис. 39).

При изучении закономерностей пространственного распределения и миграции элементов с помощью геохимических карт крайне важно

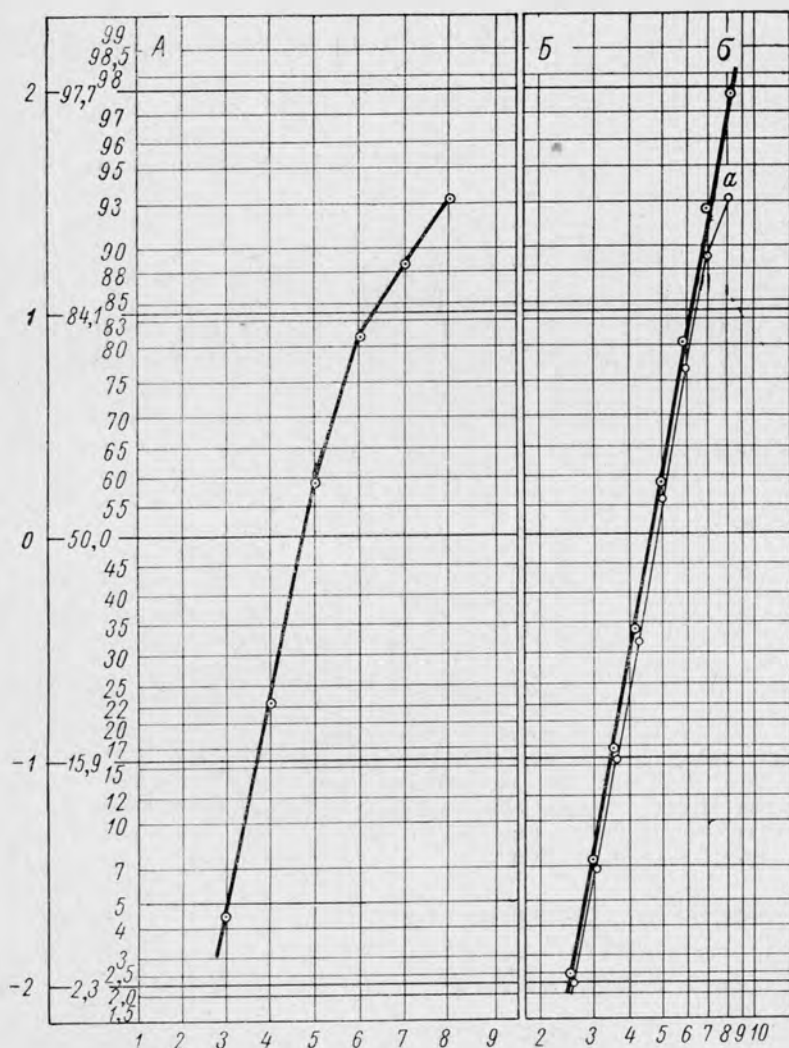


Рис. 37. Интегральная кривая распределения урана на вероятностном трафарете. Составлена В. А. Угаровым.

А — в линейном масштабе ( $n=44$ ); Б — в логарифмическом масштабе: а — до проверки крайних членов выборки, б — после проверки ( $n=42$ ) крайних членов выборки.

знать пределы нормального фонового содержания, обусловленного главным образом первичными процессами осадконакопления и магматизма.

В литературе приводятся различные рекомендации вычисления границ фоновых содержаний. Наиболее часто за нормальные пределы фона принимаются значения  $\bar{X} \pm 3\sigma$  или  $\lg \bar{X} \pm 3\sigma \lg$ .

При использовании результатов количественных анализов имеется реальная возможность выделения более слабых геохимических ано-

малый, где фоновые содержания приняты равными  $\bar{X} \pm 1,3\sigma$ , соответствующими 80% площади под кривой плотности вероятности распределения (табл. 17). При нормальном и логнормальном распределении вне зависимости от величины коэффициента вариации для определения фонового интервала необходимо пользоваться медианой.

Таким образом, в процессе статистической обработки результатов геохимических исследований главной задачей является нахождение следующих параметров:

1) медианы (до  $V_x=40\%$ ) и (или) среднеарифметического для оценки среднего содержания;

2) медианы (при всех значениях  $V_x$ ) для нахождения границ геохимического фона и аномальных содержаний;

3) среднеквадратического стандартного отклонения содержания элементов или их логарифмов для нахождения коэффициента ( $V_x$ ) вариации и фонового интервала.

Большая часть из этих параметров с наибольшей простотой и достаточно высокой точностью может быть определена на вероятностном трафарете:

1) построение интегральной кривой распределения на вероятностном трафарете;

2) нахождение параметров распределения: медианы (по 50% накопленной частоты) и среднеквадратичного стандартного отклонения содержания или логарифмов содержания;

3) определение коэффициента вариации  $V_x$ ;

4) оценку среднего содержания по среднеарифметическому (при  $V_x=40\%$ ) или медиане с учетом поправки, определяемой графически (см. рис. 38).

Использование графических методов обработки величин представляется особенно важным в полевых условиях, когда нужно оперативно получить информацию о значениях параметров изучаемых содержаний. Следует, однако, отметить, что этот способ не заменяет собой всю статистическую обработку, а при больших выборках становится малопригодным и для нахождения указанных параметров.

Последующим этапом математической обработки является сопоставление геохимических типов распределения и определение корреляционных зависимостей между микрокомпонентами. В процессе составления геохимических карт наиболее часто приходится сталкиваться с решением двух задач: 1) равны ли средние содержания элементов двух или более сопоставляемых распределений и 2) равны ли сами функции распределения. Равенство или расхождение этих величин там, где это нельзя установить визуально, проверяется с помощью критериев Стью-

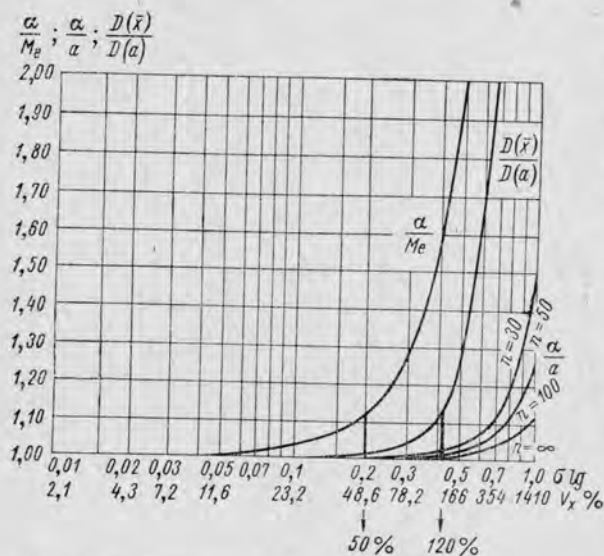


Рис. 38. Соотношение между математическим ожиданием ( $\alpha$ ), медианой ( $Me$ ), максимально правдоподобной оценкой среднего ( $\alpha$ ), дисперсиями оценок  $X-D(\bar{x})$  и  $\alpha-D(\alpha)$  и логарифмическим стандартным отклонением ( $\delta_{lg}$ ) при логнормальном законе. Составлен В. А. Угаровым.

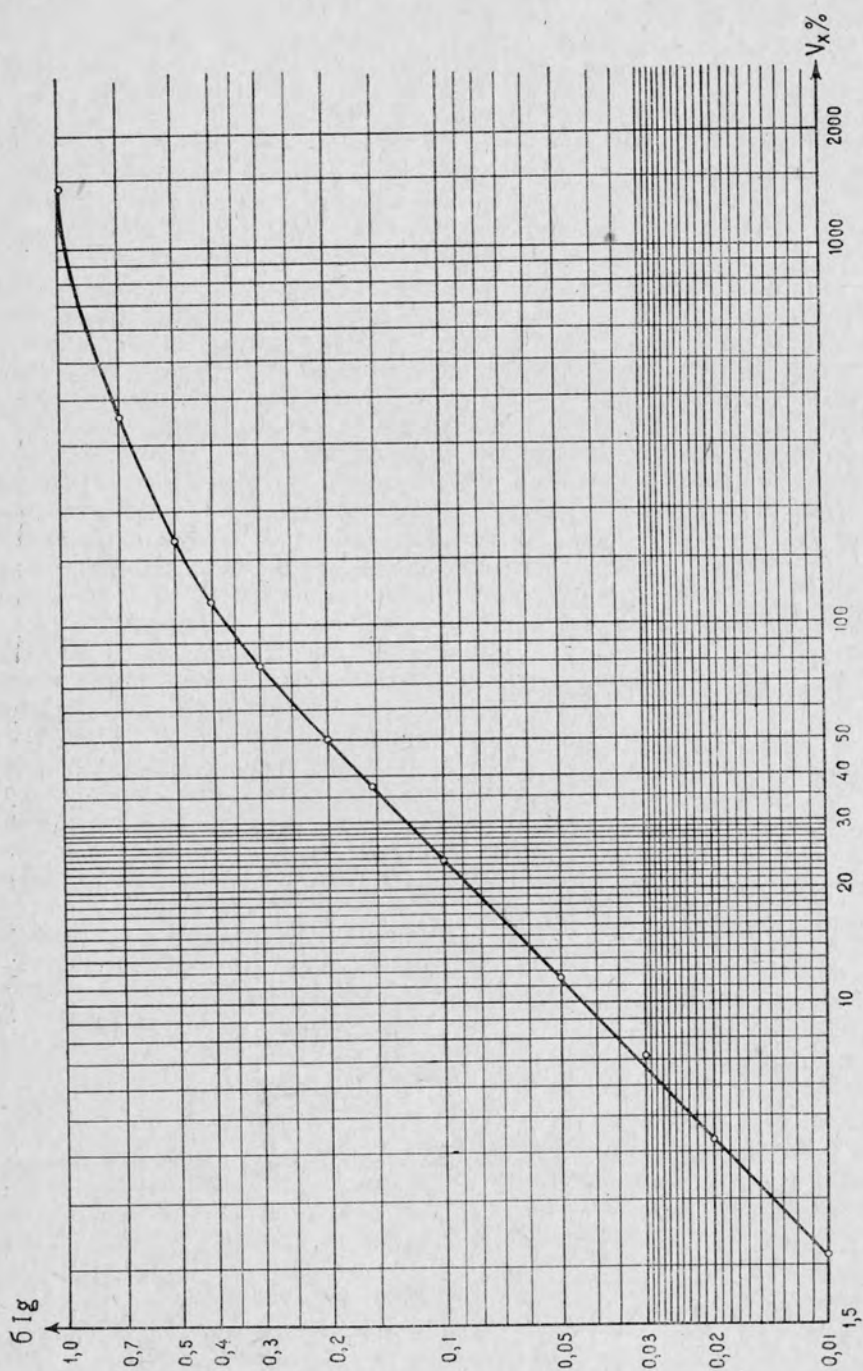


Рис. 39. Зависимость коэффициента вариации  $V_x$  от логарифмического стандартного отклонения  $\delta_{ig}$ .  
Составлен В. А. Угаровым.

Значения фонового интервала и аномальных концентраций при нормальном распределении элементов

	Фоновый интервал				Повышенные содержания	Аномальные содержания (верхние)
	Аномальные содержания (нижние)	Пониженные содержания	Интервал генерального среднего	Слабо повышенные содержания		
Пределы выделенных интервалов Количество проб	$< (Me - 3\sigma)$ Единичные	от $(Me - 3\sigma)$ до $(Me - 1,3\sigma)$ 3—5	$Me \pm 1,3\sigma$ $Me \pm 1,96\sigma$ 3—5 5—10	от $(Me + 1,9\sigma)$ до $(Me + 1,3\sigma)$ 5—10	от $(Me + 1,3\sigma)$ до $(Me + 3\sigma)$ 3—5	$\geq (Me + 3\sigma)$ Единичные

*Примечание.* Дополнительное деление фонового интервала возможно лишь при условии достаточного количества проб, высокой точности анализов и тщательной петрографической характеристики пород.

дента и других, подробно рассмотренных в руководствах по математической статистике.

Некоторое приближенное представление о силе и форме корреляционной связи между изучаемыми компонентами можно получить графическим методом путем построения и анализа широко используемых точечных корреляционных диаграмм. Этот способ, хотя и отличается большой простотой и наглядностью, вместе с тем не дает полного представления о количественной стороне корреляционной зависимости. В качестве количественных оценок связи могут быть использованы уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и другие показатели. Аналитические методы их нахождения изложены в ряде руководств и здесь не освещаются.

Попытка использовать особенности пространственного распределения радиоактивных элементов в интрузивных массивах для металлогенического прогнозирования одним из первых за рубежом была предпринята Гроссом (Gross, 1952), который установил повышенную альфа-активность в периферических частях массивов, связав этот факт с миграцией рудоносных растворов в области пониженного давления. Естественно, что использование результатов измерений суммарной альфа- или гамма-активности значительно снижает возможности выяснения содержания отдельных элементов.

Применение высокочувствительной гамма-спектрометрической аппаратуры несколько расширяет перспективы радиометрии в изучении геохимии отдельных радиоактивных элементов и позволяет перейти от построения карт суммарных гамма-полей к составлению карт изоконцентраций Ra, Th и K на основе энергетического состава гамма-излучения. Однако, как показали результаты сравнительных наземных геохимических исследований, о чем уже говорилось выше, формирование физических гамма-полей различной энергетической структуры зависит от многих геологических, геоморфологических и геохимических факторов, которые не всегда поддаются строгому учету. Совершенно очевидно поэтому, что наиболее надежной геохимической основой при составлении специальных

радиогеохимических карт являются результаты непосредственного опробования горных пород.

Методика составления радиогеохимических карт практически не освещена в литературе и еще недостаточно апробирована в различных геологических условиях. Поэтому многие предлагаемые ниже рекомендации должны критически оцениваться применительно к конкретным геологическим и геохимическим условиям ведения работ.

Исходя из опыта работ, на радиогеохимических картах необходимо отражать не только величины абсолютного или относительного содержания урана и других элементов в горных породах, но и особенности их миграции в ходе развития различных геологических процессов, в частности, тех из них, которые имеют наибольшее отношение к формированию промышленного уранового оруденения.

Как известно, в последнее время большое практическое значение приобретают эпигенетические (эндогенные и экзогенные) месторождения урана и тория, связанные с развитием разнообразных наложенных процессов (регионального и гидротермального метаморфизма, эпигенеза осадочных отложений и т. д.). Учитывая это, в основу выбора методов построения и анализа крупномасштабных радиогеохимических карт положен следующий принцип: радиогеохимическая карта особо подчеркивает те особенности геологического строения и развития района, а также те закономерности распределения и миграции рудогенных элементов, которые приводят к нарушению их первичноконституционального (обусловленного осадконакоплением и магматизмом) распределения. С учетом этого производится построение геологической основы радиогеохимических карт, изображение геохимических данных и комплексный анализ результатов.

Геологическая основа геохимической карты должна отражать не только определенные стратиграфические или петрографические разновидности пород в присущей им структурной позиции, но и геохимический фон петрогенных элементов, обуславливающий пути миграции и накопления рудных элементов. В общем случае в качестве геологической основы может быть использована несколько упрощенная (генерализованная) литолого-структурная карта, составляемая в процессе специализированного геологического картирования (см. прилож. 10).

Особенности построения такой основы вытекают из установленных к настоящему времени условий рассеяния и накопления радиоактивных элементов в земной коре в ходе развития различных геологических процессов. В геохимии различают первичноконституциональное распределение урана и тория, связанное с процессами осадконакопления и магматизма, и перераспределение элементов, вызванное наложенными процессами метаморфизма, гидротермальной деятельности и гипергенеза. Соответствующим образом эти две группы процессов должны быть четко разграничены\* на геологической карте.

Осадочные и магматические образования расчленяются не только по литолого-петрографическим и возрастным, но и по фациально-формационным признакам и выделяются на карте формой литологических знаков.

Следует отметить, что радиоактивность сходных фаций осадочных отложений может сильно отличаться в зависимости от содержания органических или минеральных восстановителей, от положения источника сноса и других факторов, которые по возможности следует отражать на геологической основе. Все это вызывает необходимость исполь-

\* Все или большую часть подразделений, относящихся к геологической основе, удобнее показывать в штриховой черно-белой легенде, оставляя цветовые изображения для геохимических данных.

зования широкого комплекса литолого-фациальных палеолитологических и палеогеографических данных для изучения истории поведения элементов в процессе осадконакопления.

Большие трудности возникают при нанесении на карты осадочных толщ с частым чередованием отдельных литологических разностей (гравелитов, песчаников, алевролитов, аргиллитов и других пород), резко отличающихся по своей геохимической характеристике. В этом случае наиболее целесообразно выделить на карте преобладающий тип пород в данной толще и показать ее полный литолого-геохимический разрез (или разрезы) в условных обозначениях.

При выделении петрографически однородных разностей изверженных пород различных интрузивных и вулканогенных комплексов также следует уделять серьезное внимание их фациальному и формационному расчленению. Фациальное расчленение пород магматических формаций предусматривает выделение как генетических фаций (экструзивные, интрузивные и др.), так и фаций глубинности (поверхностные, субвулканические и др.).

Следует подчеркнуть, что выделяемые геологические подразделения должны обладать геохимической однородностью, т. е. иметь близкие параметры распределения радиоактивных элементов, что трудно выдержать для грубокластических и такситовых разностей горных пород. В этом же плане особую трудность представляет расчленение осадочно-вулканогенных формаций, где частое переслаивание разнородных в геохимическом отношении осадочных и вулканогенных пород не позволяет отразить их на геологической карте раздельно. В этом случае могут быть показаны геохимические особенности наиболее распространенных и важных в металлогеническом отношении разновидностей горных пород с указанием в условных обозначениях степени неоднородности пород толщи в целом.

Изучение в поле и изображение на картах метаморфических преобразований горных пород, учитывая их большую роль в формировании важных в практическом отношении типов наложенной урановой минерализации, относится к числу наиболее актуальных вопросов. При этом наряду с выделением локальных зон околорудных изменений большой интерес представляет выяснение границ метаморфических преобразований пород, охватывающих значительные площади. К ним относятся изменения, связанные с проявлением регионального и контактового метаморфизма, а также площадного гидротермального метасоматоза и околорудных процессов внешних зон метасоматических колонок.

Изучение метаморфизованных пород рационально проводить фациальным методом.

На геологической карте принадлежность пород к той или иной фации изменений показывается литологическими значками разного цвета или дополнительным цветным крапом.

Отнесение пород к определенной фации регионального и гидротермального метаморфизма производится на основе выделения равновесных минеральных ассоциаций эпимагматических минералов. При этом с особой тщательностью следует выделять границы различных фациальных зон, так как вблизи них происходит изменение внешних факторов миграции радиоактивных элементов.

Определение метаморфических фаций, связанных с проявлением регионального метаморфизма, не представляет значительных трудностей, так как теория динамотермального метаморфизма разработана к настоящему времени достаточно полно. При этом особо важным представляется выделение следующих фаций регионального метаморфизма: высшей и нижней гранулитовой, амфиболитовой и в особенности эпидот-амфиболитовой и зелено-сланцевой, где происходит концентрация

радиоактивных элементов при их миграции под влиянием метаморфических процессов.

Вопросы фациального расчленения гидротермально-метасоматических образований изучены значительно слабее. Исходя из общей теории метасоматических процессов, разрабатываемой Д. С. Коржинским (1955), можно наметить четыре основные группы фаций, закономерно сменяющие друг друга в пространстве и обусловленные режимом кислотности — щелочности гидротермальных растворов:

а) фации щелочного существенно калиевого метасоматоза (ранняя постмагматическая стадия);

б) фации субщелочного метасоматоза (ранняя постмагматическая стадия);

в) фации кислотного выщелачивания;

г) фации стадии осаждения (поздняя щелочная стадия).

Последовательная смена этих фаций в пространстве может проявляться в различных термодинамических условиях. Поэтому в целом выделяемые на карте гидротермально-метасоматические фации определяются кислотностью — щелочностью воздействовавшего раствора и термодинамическими условиями глубинности протекающего процесса метаморфизма.

В связи с тем что уран и другие радиоактивные элементы обладают высокой гипергенной миграционной способностью в определенных геохимических ландшафтах, на геологической карте должны найти отражение степень разрушенности горных пород и зоны максимального проявления приповерхностной лимонитизации и других гипергенных процессов.

Нанесению геохимической нагрузки на геологическую основу предшествует составление серии вспомогательных накладок, из которых первостепенное значение имеют карты гамма-поля (по данным воздушных или наземных радиометрических исследований) и карты опробования горных пород с результатами определений содержания урана и тория и элементов-спутников урановой минерализации. Методика составления этих карт достаточно проста и не требует особых пояснений.

Все геохимические данные, отражающие распределение радиоактивных и других рассеянных элементов в горных породах и их соотношение, выносятся на радиогеохимические карты цветной закраской, штриховкой и другими цветовыми изображениями, а также в виде гистограммы, вариационных кривых или диаграмм в зарамочном оформлении.

В общем случае на карте могут быть изображены следующие получаемые в ходе математической обработки параметры распределения элементов в горных породах:  $\bar{X}$  (среднее содержание урана),  $\sigma$  (среднеквадратическое стандартное отклонение содержания урана),  $V_x$  (коэффициент вариации содержания урана), закон распределения урана, торий-урановое отношение, наличие повышенных концентраций элементов-спутников и др. Учитывая поисковую и прогнозную направленность исследований, основным параметром геохимической нагрузки карт целесообразно принять среднее содержание в породах урана.

В составлении крупномасштабных радиогеохимических карт можно наметить два этапа\*: 1) построение карт ореолов повышенных содержаний урана и элементов-спутников и 2) создание собственно радиогеохимических карт, отражающих не только ореолы урана и элементов-спутников в породах, но и особенности первичноконституционального распределения металлов и их поведение в ходе развития различных геологических процессов.

\* В ряде случаев оба этапа работы могут быть совмещены.

При построении карт ореолов урана основное значение имеет выделение зон (в виде изолиний) с повышенным (аномальным) против местного фона породы содержанием элементов (см. прилож. 10). Аномальные величины содержаний урана и других металлов определяются методами математической статистики с учетом особенностей пород района картирования.

Учитывая, что литогеохимические методы поисков ориентированы на выявление слабо проявленных на поверхности аномалий, наиболее тщательно должны выделяться следующие значения повышенных содержаний:  $(Me + 1,3\sigma)$  и  $(Me + 3\sigma)$ . При этом, если ореолы слабо повышенных содержаний урана  $> (Me + 1,3\sigma)$ , но  $< (Me + 3\sigma)$  — следует фиксировать по нескольким (не менее 3) расположенным поблизости пробам, то аномальные содержания  $> (Me + 3\sigma)$  — могут быть выделены по единичным значениям. Региональные кларковые содержания урана, тория и сопутствующих элементов и другие параметры, характеризующие геохимические особенности отдельных разновидностей пород района картирования, приводятся в виде таблиц или гистограмм в условных обозначениях. Аналогичный способ построения карт ореолов может быть использован и для сопутствующих элементов. В ряде случаев возможно совмещенное изображение аномальных содержаний нескольких или многих элементов. Построение карт ореолов является, по существу, первым предварительным этапом представления результатов геохимических исследований; оно может производиться непосредственно в ходе полевых работ.

Составление собственно радиогеохимических карт требует более углубленного и комплексного изучения геологических, минералого-геохимических, радиометрических и других данных и может осуществляться лишь после тщательной обработки результатов химического и микроскопического исследования горных пород и отдельных минералов. Учитывая необходимость картографического изображения особенностей первичноконституционального рассеяния элементов в различных типах горных пород и характера их поведения при различных геологических процессах, на собственно радиогеохимических картах должны быть дифференцированы геохимические поля не только в области аномальных содержаний, но и в пределах фонового интервала и ниже фонового. При этом большое значение имеют данные не только об относительных величинах аномальных содержаний, но и об абсолютных содержаниях урана в горных породах на различных участках съемки. В связи с этим при построении карт цветовая легенда, отражающая содержание урана, выбрана в абсолютных значениях и является единой для различных типов горных пород (см. прилож. 10).

В соответствии со значениями абсолютного содержания металла в горных породах производится выделение геохимических зон равных концентраций урана в пределах указанных интервалов при условии, если среднее содержание элемента на этих площадях на основе математических критериев отличается достоверно. Наряду с абсолютными величинами содержания урана, на радиогеохимических картах должны быть показаны фоновые содержания элемента в различных типах пород, а также значения ниже и выше фона с учетом подразделений, сделанных в таблице к прилож. 10. Закраска геохимических полей с содержанием урана в пределах фонового интервала (или интервала генерального среднего) сохраняется без изменения в соответствии с величиной абсолютного содержания. Геохимические зоны с содержанием урана выше или ниже фона (или интервала генерального среднего) отображаются на карте в виде дополнительных цветных контуров, тональностью закраски или знаками плюс и минус, как это сделано на приведенной радиогеохимической карте (см. прилож. 10). Такой способ изображения содержания урана позволяет путем статистической обработки материа-

лов выделять на радиогеохимических картах не только зоны с аномальными значениями  $>(\bar{X}+1,3\sigma)$  или  $>(\bar{X}+3\sigma)$  и т. д., но и получить информацию о пространственных особенностях первичноконституционального распределения элементов в горных породах, а также оконтуривать участки пониженных содержаний металла.

Наряду с содержанием рассеянного в горных породах урана, на карте показываются также геохимические особенности рудных скопленений металла: кларк концентрации элемента, форма нахождения урана в рудах и околорудноизмененных породах, торий-урановое отношение и т. д. В зарамочном оформлении карты приводятся гистограммы распределения урана в главных типах пород с учетом степени их метасоматических изменений, а также таблица с основными параметрами ( $\bar{X}$ ,  $\sigma$ ,  $V$ , пределы фона) содержания урана и элементов-спутников в главных типах пород.

Вторым по значению геохимическим параметром горных пород является торий-урановое отношение, колебания величины которого указывают на изменение физико-химических (прежде всего окислительно-восстановительных) условий среды, в которой протекало образование пород и их последующие изменения. В этом плане наибольший интерес представляет выделение на картах участков и зон, в пределах которых торий-урановое отношение в породах отклоняется от нормальных значений, обусловленных первичными процессами осадконакопления и магматической дифференциации. Как показывают результаты радиогеохимического картирования, аномальными значениями торий-уранового отношения наиболее часто фиксируются: а) зоны развития приповерхностного низко- и среднетемпературного гидротермального метаморфизма пород (пониженными,  $<1-2$ , и повышенными,  $>5-8$ , величинами Th/U); б) область распространения окисленных песчаников (высокими величинами Th/U,  $5-10$ ); в) участки развития пород с повышенным содержанием в породах органического вещества (с уменьшением Th/U до  $1-2$  и ниже) и т. д. В прилож. 10 показаны интервалы нормальных и аномальных значений торий-уранового отношения, которые должны быть положены в основу выделения участков с нарушенным против фоновых величин соотношением урана и тория. На карте это может быть изображено в виде дополнительной цветной штриховки различного направления и густоты, показываемой лишь в том случае, когда величина торий-уранового отношения отличается от нормальных (фоновых) значений.

Таким образом, основными параметрами цветовой геохимической нагрузки радиогеохимических карт являются среднее содержание урана в породах и торий-урановое отношение.

Для правильной интерпретации радиогеохимических данных, в особенности расшифровки ореолов аномальных содержаний урана, важно также вынесение на карты или специальные наклейки дополнительной геохимической нагрузки, как-то: а) аномальных содержаний (ореолов) элементов-спутников урановой минерализации в горных породах — в виде изолиний со значениями  $(Me+1,3\sigma)$ ,  $(Me+3\sigma)$  и т. д. или в форме химических индексов различной величины и цвета; в) соотношения и содержания изотопов радиогенного свинца в породах с повышенной радиоактивностью и т. д.

Наиболее трудным является последующий анализ геологических и геохимических материалов, конечная цель которого — выделение на картах прямых и косвенных поисковых признаков уранового и урано-ториевого оруденения.

Трудности такого анализа заключаются в том, что содержание в породах урана, тория и сопутствующих элементов обусловлено целым рядом факторов, главными из которых являются следующие:

1. Первичное рассеяние элементов, обусловленное процессами осадконакопления и магматизма.

2. Перераспределение урана и тория в результате процессов регионального и гидротермального метаморфизма.

3. Миграция урана и тория в зоне гипергенеза в результате процессов выветривания и воздействия подземных и поверхностных вод.

Выяснение индивидуального влияния каждого из этих факторов на формирование общей радиоактивности пород, и в особенности аномальных геохимических зон, является главной задачей анализа геологических, геохимических, радиометрических и других данных.

С каждой из этих групп процессов может быть связано формирование рудных скоплений и аномальных геохимических зон со слабо повышенным содержанием урана и спутствующих элементов в горных породах.

В связи с этим на крупномасштабных радиогеохимических картах все участки с повышенным содержанием урана ( $> (\bar{X} + 1,3\sigma)$  или  $> (\bar{X} + 3\sigma)$  и т. д.) должны быть классифицированы по условиям их возникновения и связи с отдельными процессами геологического развития земной коры (осадконакоплением, магматизмом, метаморфизмом и т. д.).

Наибольший интерес при поисках и прогнозировании урановых месторождений представляет выделение следующих типов ореолов повышенных содержаний урана в горных породах:

1. Экзогенные сингенетичные с осадконакоплением ореолы повышенных содержаний урана с равномерным характером распределения концентраций металла и приуроченностью к определенным литолого-стратиграфическим горизонтам пород (ванадиеносным глинисто-кремнистым сланцам, фосфоритам, битуминозным известнякам и т. д.) часто совместно с P, V, Pb, Ag и другими элементами;

2. Экзогенные эпигенетические ореолы повышенных содержаний урана (совместно с Se, Mo, V, Cu и другими элементами), приуроченные к терригенным преимущественно платформенным отложениям нижней границы зон пластового окисления;

3. Эндогенные сингенетичные с магматическими образованиями ореолы повышенных содержаний урана, приуроченные к отдельным разновидностям пород (щелочным гранитам, обычно в эндоконтактовых частях, пегматитам и др.) совместно с Th, Ta, Nb, Li и другими элементами;

4. Эндогенные эпигенетические ореолы повышенных содержаний U, Th, W, Ta, Nb, Zr, Hf и других элементов, связанные с высоко- и среднетемпературными постмагматическими преобразованиями пород (преимущественно гранитоидов), протекающими в субвулканических и гипабиссальных условиях (грейзенизация, альбитизация, микроклинизация и др.);

5. Эндогенные эпигенетические ореолы повышенных содержаний урана совместно с Mo, Pb, As, Cu и другими элементами, возникающие в разнообразных по составу и возрасту породах в связи с низко-среднетемпературными гидротермально-метасоматическими преобразованиями. Ореолы повышенных содержаний урана данного типа представляют большой интерес для поисков промышленной урановой минерализации, и поэтому они должны особо подчеркиваться на радиогеохимической карте;

6. Гипергенные ореолы повышенных содержаний урана в различной степени выветрелых горных породах, связанные с сорбционными, испарительными и иными процессами накопления урана. В отличие от других нормальных содержаний урана подобного рода ореолы с резко

нарушенным радиоактивным равновесием обычно не сопровождаются высокими концентрациями радиогенного свинца и характерных элементов-спутников гидротермальной урановой минерализации (Mo, As, Pb, Cu и др.).

Классификация ореолов повышенных содержаний урана в горных породах по генетическому типу (с учетом особенностей геологического строения, характера гидротермально-метасоматических изменений и геохимических данных) необходима для выделения под дополнительное геохимическое изучение и более детальные поиски наиболее перспективных локальных участков.

Наряду с повышенными содержаниями урана в горных породах, для целей прогнозирования месторождений большое значение имеют косвенные геохимические признаки рудоносности, вытекающие из анализа особенностей пространственного распределения элементов в горных породах рудоносных структур и закономерностей их поведения в ходе развития геологических процессов. Наибольший интерес представляет изучение особенностей поведения урана и элементов-спутников при гидротермальных и других эпигенетических преобразованиях пород, с которыми во времени и пространстве тесно связаны многие типы урановых месторождений. Результаты радиогеохимических исследований в ряде рудных районов показывают, что наложенные процессы, наряду с образованием рудных тел и связанных с ними, так называемых, первичных ореолов в околорудноизмененных зонах, приводят к возникновению широких полей с повышенными или пониженными содержаниями урана и другими характерными геохимическими и минералого-геохимическими особенностями горных пород. Такие широкие геохимические поля с резко неоднородным распределением рудных элементов могут быть классифицированы как зоны нарушений первичноконституционального распределения металлов.

Главнейшие минералого-геохимические признаки таких зон следующие:

1. Широкое развитие гидротермально-метасоматических и других измененных пород различных фаций глубинности при различной кислотности — щелочности воздействовавших растворов. В связи с этим в породах очень часто проявлено нарушение нормального, обусловленного процессами осадконакопления и магматизма, содержания и соотношения щелочей (K, Na) и других петрогенных элементов;

2. Резкое увеличение степени неоднородности распределения урана и тория, связанное с наличием в измененных породах повышенных и пониженных содержаний элементов (увеличение коэффициента вариации до 40—80% и более, изменение закона распределения элементов);

3. Резкое колебание торий-уранового отношения (от 0,5—1 и менее до 5—10 и более), что указывает на существенно различный характер миграции урана и тория при метасоматических изменениях в приповерхностных условиях;

4. Присутствие в породах повышенных содержаний элементов-спутников урановой и урано-ториевой минерализации. Набор этих элементов может меняться в зависимости от характера метасоматических изменений и типа оруденения (Th, P, Zr, Sr, Th и др. — апатито-урановая рудная формация; Mo, Pb, As, Cu и др. — молибденито-настурановая рудная формация и т. д.).

Образование зон с нарушенным первичноконституциональным распределением элементов является, по существу, следствием проявления одной из сторон рудоносного процесса, с которым, наряду с формированием рудных скоплений, связано более значительное по масштабам перемещение (рассеяние и концентрация) рудогенных элементов в горных породах.

В металлогеническом отношении такие зоны соответствуют рудным полям. В пределах геохимических зон с нарушенным первичноконституциональным распределением элементов в ряде случаев отчетливо устанавливаются зоны привноса и выноса урана и сопутствующих элементов. Зоны привноса прослеживаются обычно вдоль тектонически ослабленных структур по наличию ореолов повышенных и слабо повышенных содержаний урана в разнообразных по составу и происхождению породах. В этих породах отмечается, как правило, преимущественное уменьшение торий-уранового отношения (до 1 и ниже), увеличение содержания легкоподвижного урана, изменение минералого-геохимических форм нахождения металла, а также аномальные концентрации радиогенных (урановых и ториевых) свинцов и элементов-спутников урановой минерализации.

Выделение на радиогеохимических картах зон привноса урана, значительно (в десятки раз) превышающих размеры рудных тел и первичных ореолов рассеяния, имеет большое значение при прогнозировании, так как подобные зоны фиксируют положение рудных узлов и отдельных месторождений.

В отличие от зон привноса урана, на участках с пониженными содержаниями урана (зоны выноса) обнаруживаются в ряде случаев прямо противоположные геохимические признаки — повышенное торий-урановое отношение, отсутствие легкоподвижного урана и т. д. — указывающие на вынос металла в результате воздействия наложенных процессов. Вынос урана, как правило, фиксируется лишь в отдельных разновидностях пород — окисленных кварц-полевошпатовых и других песчаниках, хорошо проницаемых за счет пористости, или вулканогенных породах и т. д. Зоны выноса металлов, располагающиеся обычно в непосредственной близости от зон привноса, рудных узлов и месторождений, проявляются на еще более значительных площадях. В ряде случаев вынос металлов из пород может косвенно указывать на мобилизацию рудного вещества.

Таким образом, главнейшим косвенным поисковым признаком наложенной и, в частности, гидротермальной урановой минерализации является наличие площадных ореолов повышенных и пониженных содержаний урана (зон привноса и выноса), возникающих в результате развития наложенных процессов, приводящих к нарушению первичноконституционального распределения рудных металлов и петрогенных элементов.

В связи с этим на радиогеохимических картах, наряду с первичными ореолами, необходимо особо подчеркивать следующие геохимические аномалии: 1) зоны нарушения первичноконституционального распределения элементов; 2) зоны привноса урана и сопутствующих элементов; 3) зоны выноса урана.

#### **МЕТОДЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ И ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ**

К данной группе методов относятся литогеохимические и радиометрические исследования кор выветривания и рыхлых отложений, а также радиогидрохимический и биогеохимический методы и ландшафтно-геохимическое изучение территорий.

Главными задачами этих методов при крупномасштабном специализированном на уран геологическом картировании являются следующие:

1. Выявление и оценка вторичных ореолов и потоков рассеяния урана и элементов-спутников урановых месторождений в коре выветривания, рыхлых отложениях, водах и растениях;

2. Изучение особенностей миграции урана, радия, тория и элементов-спутников урановой минерализации при разрушении горных пород и руд в гипергенной обстановке и выделение зон с определенными геохимическими типами ландшафта для выбора наиболее эффективных средств их опробования.

Применение какого-либо из методов или их комплекса для решения этих задач определяется геоморфологическими, климатическими и другими факторами. Наибольшее применение имеют литогеохимический метод опробования рыхлых отложений и радиогидрохимический. Возможности биогеохимического метода при металлогенических исследованиях в м-бе 1 : 50 000 весьма ограничены. Он может быть использован главным образом для оценки выявленных геохимических аномалий и при детализационных работах.

Литогеохимическое опробование кор выветривания и рыхлых отложений при геологических и прогнозных исследованиях м-ба 1 : 50 000 может производиться обычными приемами, подробно описанными в специальных методических пособиях (Каблуков, Сочеванов и др., 1964; и т. д.) и инструкциях по геохимическим методам поисков. Ореолы и потоки рассеяния радия могут изучаться с помощью гамма-спектрометрических измерений или гамма-измерений. Для обнаружения повышенных концентраций урана в рыхлых отложениях, особенно в аллювии (метод донных осадков), возможности радиометрических измерений весьма ограничены из-за нарушения равновесных соотношений между элементами урано-радиевого ряда. В этом случае целесообразно использование результатов геохимического опробования с последующим определением содержания урана ускоренным люминесцентным методом по методике Н. В. Квашневской (разложение в смеси соляной и серной кислот) или содовой вытяжкой.

Большую помощь при выделении перспективных площадей как в аридных, так и в гумидных зонах могут оказать результаты опробования донных (аллювиальных и пролювиальных) отложений гидросети в совокупности с результатами гидрохимических исследований. Опробование донных осадков может производиться как по крупным водотокам, так и мелким сухим логам с отбором проб илисто-глинистого материала через 200—1000 м.

Радиогидрохимические данные собираются путем отбора проб воды из естественных и искусственных источников с определением содержания урана, радона и других элементов. Одной пробой воды при исследованиях м-ба 1 : 50 000 может быть охарактеризована площадь питания порядка 1,5—2,5 кв. км. Отбор проб целесообразно производить в период летней межени. Полученные результаты анализа проб подвергаются статистической обработке, после чего производится составление геохимических карт содержания урана и элементов-спутников с выделением ореолов рассеяния и концентрации элементов и на основе этого перспективных площадей.

При проведении литогеохимических исследований рыхлых отложений большое значение имеет выбор представительного горизонта опробования и поисков, наиболее приближенного к дневной поверхности, в пределах которого вторичные ореолы рассеяния урана, радия и других элементов устойчивы, имеют максимальные размеры и их обнаружение экономически наиболее выгодно.

Таким образом, геохимические поиски и прогнозирование урановых месторождений по вторичным ореолам и потокам рассеяния должны быть строго дифференцированы в зависимости от условий миграции радиоактивных элементов в различных климатических и ландшафтно-геохимических зонах. Для этого выполняются ландшафтно-геохимические исследования с целью районирования площадей по особенностям миграции элементов в зоне гипергенеза и условиям ведения поисков

(Перельман, 1966). Ландшафтно-геохимические карты м-ба 1 : 50 000 должны отражать мощность рыхлых отложений, геоморфологические, климатические, почвенные, геохимические и другие факторы, влияющие на характер миграции элементов в зоне гипергенеза и, в первую очередь, на условия возникновения вторичных ореолов и потоков рассеяния, а также экзогенных аккумуляций металлов.

После анализа на ландшафтно-геохимических картах выделяются геохимические типы ландшафтов — ландшафты выщелачивания и выноса, характеризующиеся наличием смещенных ореолов рассеяния, ландшафты выноса и частичной аккумуляции, где формируются смещенные угнетенные и накопительные ореолы, и т. д. В зависимости от геохимического типа ландшафта для конкретных площадей производится выбор представительного горизонта опробования, наиболее эффективных геохимических методов исследований и поисков урановых месторождений, а также технических средств их осуществления.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗОН ГИДРОТЕРМАЛЬНО- МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОГНОЗНО- МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

При проведении крупномасштабного геологического картирования в районах развития гидротермальных урановых месторождений большую помощь в прогнозировании может оказать изучение площадных гидротермально-метасоматических преобразований пород. По имеющимся данным, в ряде урановорудных районов, где формирование оруденения протекало в приповерхностных условиях, гидротермально измененные породы занимают площади, значительно превышающие размеры отдельных рудных полей. В таких случаях связь уранового оруденения с определенным типом гидротермально-метасоматического преобразования пород может быть установлена только при систематических минералого-геохимических исследованиях на площадях, охватывающих разнообразные проявления урановой и ториевой минерализации.

Эти исследования дают возможность наметить ряд конкретных поисковых признаков, вытекающих из условий рудообразования, что можно показать на примере одного из урановорудных районов.

#### **ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА**

В геологическом строении рассматриваемого района принимают участие осадочно-вулканогенные толщи позднеорогенных стадий развития каледонской подвижной области, на отдельных участках перекрытые субплатформенными существенно карбонатными отложениями. В основании разреза залегают породы терригенной толщи флишондного типа (рис. 40).

Магматизм позднеорогенных стадий развития характеризуется широким проявлением изверженных пород вулканических и субвулканических фаций глубинности. Посторогенный магматизм представлен поясами порфиритовых даек и крупными гранитоидными интрузиями, развитыми за пределами рассматриваемой площади.

Тектоническое строение района характеризуется довольно интенсивной складчатостью позднеорогенных образований. Брахискладки имеют устойчивую вытянутость в северо-восточном направлении, согласно с которым развивается одна из систем разломов, создающих ступенчато-блоковое осложнение крыльев складок. Кроме этого, выделяются разрывные нарушения, занимающие резко секущее положение по отношению к основным складчатым, вулканическим и разрывным

структурам позднеорогенного периода развития. Эти разломы, являющиеся, видимо, наиболее поздними, четко проявлены среди терригенно-карбонатных субплатформенных отложений, где создают приразломную складчатость. К ним приурочены самые молодые в районе магматические образования основного и среднего составов (пояса порфиритовых даек), а за пределами описываемого района — посторогенные гранитоиды. Основные разломы данной системы, проявленные на поверхности

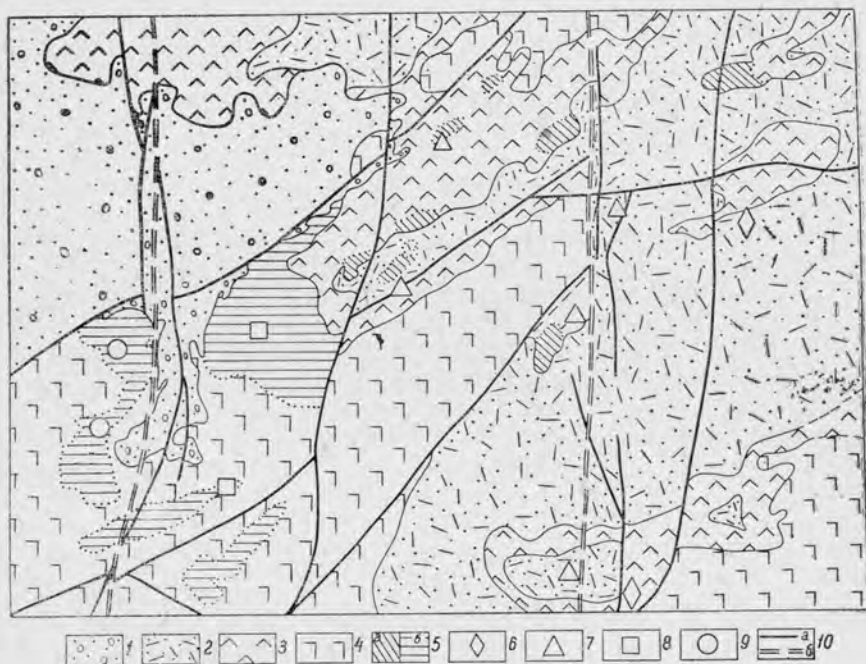


Рис. 40. Структурно-геологическая схема урановорудного района в области проявления позднеорогенного магматизма.

1 — субплатформенные отложения (красноцветные конгломераты, песчаники, аргиллиты, известняки); 2—5 — позднеорогенные образования: 2 — разнозернистые песчаники, переслаивающиеся с туфами кислого состава, линзы и горизонты порфиритов, 3 — туфы кварцевых порфиров с прослоями вулканомиктовых песчаников, 4 — порфириты, перемежающиеся с алевродитами и песчаниками, прослой туфов и лав липаритового состава, 5 — вулканические аппараты и экструзивные тела поздней (а) и ранней (б) фаз вулканизма; 6—9 — проявления урановой и ториевой минерализации: 6 — кварц-гемацит-настурановые, 7 — карбонатно-сульфидно-настурановые, 8 — флюорит-настурановые, 9 — ториевые; 10 — основные разрывные нарушения (а) и проекции глубинных разломов (б).

сериями сближенных трещин, на глубине, по геофизическим данным, представлены четкими линейными швами, разграничивающими блоки различного строения.

Эта система разломов играет определенную роль в пространственном положении различных фаций гидротермального метаморфизма и взаимосвязанных с ними разнотипных проявлений урановой и ториевой минерализации. Естественно, что выделение данной системы разрывных нарушений и сопровождающих их гидротермально-метасоматических преобразований горных пород является одной из важных задач прогнозирования локальных перспективно ураноносных структур.

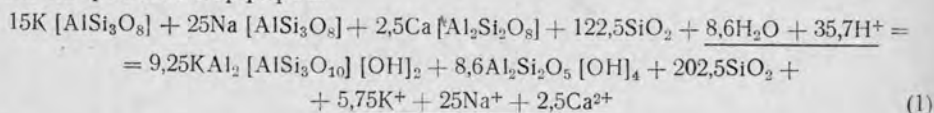
#### ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ

Практически все осадочные и вулканогенные породы района в той или иной степени затронуты наложенными процессами гидротермального преобразования, начиная от единичных тончайших прожилков

эпимагматических минералов до полного замещения всех первичных минералов гидротермальными. Детальное петрографическое изучение эпимагматических образований и их возрастных соотношений по всей территории района позволило автору совместно с О. П. Ушаковым выделить три основные ассоциации эпимагматических минералов наиболее поздних стадий гидротермальной деятельности, а также установить площадное распространение каждой из этих ассоциаций. При этом интенсивность процесса изменения, связанная в основном с физико-механическими свойствами пород, при выделении зон разнотипного гидротермально-метасоматического преобразования не учитывалась. Главнейшие выделенные ассоциации минералов следующие:

- а) кварц — серицит — гидромусковит — каолинит;
- б) альбит — хлорит — эпидот — карбонат;
- в) калишпат — кварц — гематит.

**Каолинит-гидромусковит-серицит-кварцевая ассоциация**, развивающаяся по породам как липаритового, так и базальто-андезитового состава, характеризует процесс кислотного выщелачивания, интенсивность проявлений которого в кислых эффузивах обычно большая. Химизм данного процесса удобно проиллюстрировать на примере кислых эффузивов, так как среди них встречаются неизменные породы и разности, полностью замещенные перечисленными эпимагматическими минералами. Суммарное стехиометрическое уравнение реакции кислотного выщелачивания рассчитано по шести силикатным анализам неизменных кварцевых порфиров:



В уравнении (здесь и ниже) подчеркнуты компоненты раствора.

Сопоставление реального состава неизменных кислотно-выщелоченных кварцевых порфиров и продукта приведенной реакции (табл. 18)

Таблица 18

Сопоставление реального и рассчитанного составов кислотно-выщелоченных кварцевых порфиров (%)

Минералы	Реальный (упрощенный) состав по данным силикатных анализов		Расчетный состав (продукт реакции из уравнения 1)
	Неизменная порода (6 анализов)	Кислотно-выщелоченная порода (8 анализов)	
Кварц . . . . .	37,1	64,1	67,5
Калишпат . . . . .	23,6	—	—
Альбит . . . . .	35,7	1,6	—
Анортит . . . . .	3,6	1,6	—
Мусковит . . . . .	—	23,4	20,2
Каолинит . . . . .	—	9,3	12,3
Сумма . . . . .	100,0	100,0	100,0

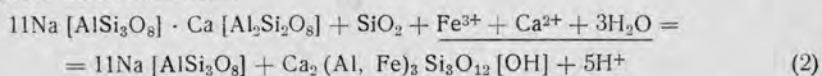
показывает, что данное уравнение правильно описывает химизм процесса изменения, происходящего под влиянием кислых растворов (35,7 H<sup>+</sup>).

Подобный процесс приповерхностного гидротермального изменения наиболее подробно описан С. И. Набоко (1963) и Д. Е. Уайтом (1965), которые связывают его с воздействием горячих (~100°С) водных растворов с рН=3—4.

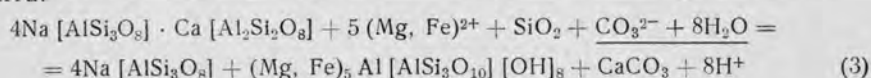
Породы, претерпевшие кислотные выщелачивания, слагают в районе две зоны, четко приуроченные к пучкам разрывных нарушений близмеридионального простирания и прослеживающиеся на десятки километров в длину при ширине 5—10 км.

**Карбонат-эпидот-хлорит-альбитовая ассоциация** также встречается в породах различного состава, но обычно более интенсивно развивается в порфиритах. При этом даже почти полное замещение первичных минералов перечисленными не приводит к существенному изменению валового химического состава исходных пород. Качественно химизм протекающих реакций можно описать следующими стехиометрическими уравнениями.

В липаритовых порфирах происходит замещение плагиоклаза (№ 9) альбитом и эпидотом. Калиевый полевой шпат практически не затрагивается изменениями.

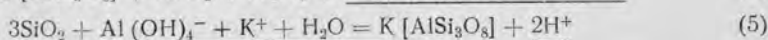
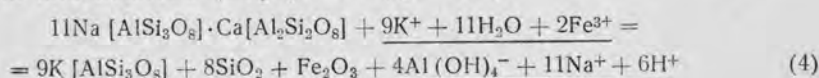


В порфириках чаще встречается ассоциация альбита, хлорита и кальцита.

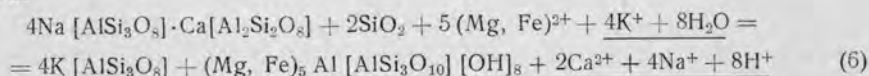


Появление в правой части уравнения ионов водорода указывает на уменьшение щелочности воздействующих растворов в результате данных реакций. В то же время устойчивость хлорита и кальцита свидетельствует о том, что гидротермальный раствор и после прохождения данных реакций остается слабощелочным. Все это дает возможность рассматривать данный процесс гидротермального изменения в качестве субщелочного метасоматоза. В приповерхностных условиях отмеченные преобразования могут происходить при температуре ниже 250°С (Набоко, 1963). Породы подвергшиеся субщелочному метасоматозу, окружают зоны кислотного выщелачивания в плане и сменяют кислотно-выщелоченные породы на глубину.

**Гематит-кварц-калишпатовая ассоциация** развивается достаточно полно в вулканогенных породах любого состава, отчетливо проявлена в терригенных образованиях и только в карбонатных отложениях пока не установлена. Существенной чертой этого процесса, протекающего в кислых эффузивах, является замещение кварца калишпатом, которое происходит за счет поступления в раствор ионов  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  при калишпатизации плагиоклаза (Барсуков и др. 1963).



В породах среднего и основного составов метасоматическое развитие калиевого полевого шпата нередко сопровождается появлением хлорита.



Нет необходимости доказывать, что отмеченные преобразования пород происходят при щелочном существенно калиевом метасоматозе. Зоны калиевого метасоматоза и кислотного выщелачивания обычно разделены участками проявления субщелочного метасоматоза.

На рис. 41 показаны площади распространения пород с различными ассоциациями эпимагматических минералов. Соотношение этих пло-

щадей создает региональную гидротермально-метасоматическую зональность, ориентированную вдоль системы разломов, занимающих резко секущее положение по отношению к позднеорогенному тектоническому плану района. Зоны разнотипных изменений включают различные по составу, возрасту и происхождению породы, в том числе и субплатформенные образования, и последовательно сменяют друг друга на глубину. Происхождение данной зональности можно связать с кислотно-щелочной эволюцией восходящих гидротермальных растворов. Прояв-

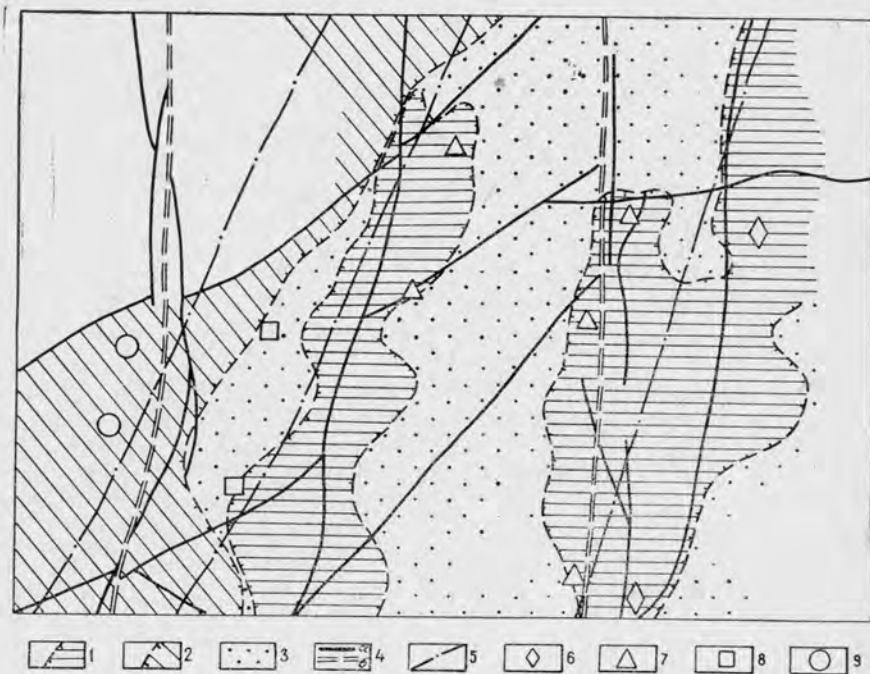


Рис. 41. Положение оруденения в зонах гидротермально-метасоматических изменений.

1 — зоны кислотного выщелачивания; 2 — зоны калиевого метасоматоза; 3 — зоны субщелочного метасоматоза; 4 — основные разрывные нарушения (а) и проекции глубинных разломов (б); 5 — линии разграничения проявлений урановой и ториевой минерализации; 6—9 — проявления урановой и ториевой минерализации; 6 — кварц-гематит-настурановые; 7 — карбонатно-сульфидно-настурановые; 8 — флюорит-настурановые, 9 — ториевые.

ление этой эволюции в различных термодинамических условиях протекания гидротермального процесса показали многие исследователи (Коржинский, 1955; Беус и др., 1962; Набоко, 1963; Рундквист, 1965; Жариков и Омеляненко, 1965; др.) При этом в различных термодинамических условиях наиболее характерными минералого-геохимическими особенностями отличаются кислотно-выщелоченные породы, которые можно рассматривать как индикатор глубинности и температуры образования метасоматитов. Например, грейзены указывают на высокотемпературные глубинные условия, вторичные кварциты — на среднетемпературные гипабиссальные и субвулканические условия, а описанные выше каолинит-гидромусковит-кварцевые породы — на низкотемпературные приповерхностные условия.

В приповерхностных условиях появление кислых растворов вызвано скорее всего подземным вскипанием слабощелочных или нейтральных гидротерм на термодинамическом барьере, где внешнее давление становится равным парциальному давлению легколетучих компонентов раствора (Набоко, 1963).

Общая направленность эволюции гидротермального раствора в приповерхностных условиях показана на рис. 42.

С точки зрения возможного рудообразования особый интерес представляет отмеченный термодинамический барьер (барьерная подзона), где происходит наиболее глубокое преобразование гидротермального

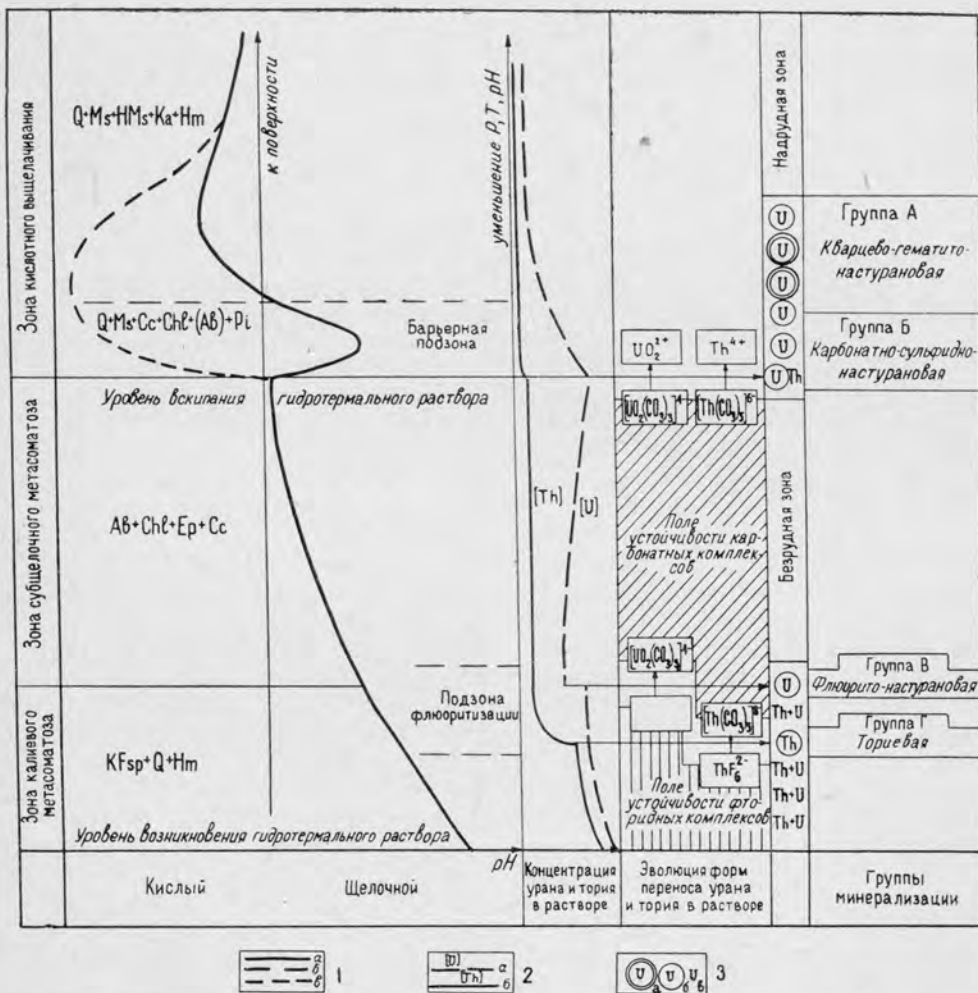


Рис. 42. Поведение урана и тория в эволюционирующем гидротермальном растворе. Характерные эпимагматические минералы (ассоциации): Q — кварц, KFsp — калишпат, Ab — альбит, Ms — серицит, HMs — гидромусковит, Ka — каолинит, Chl — хлорит, Ep — эпидот, Cc — карбонат, Hm — гематит, Pi — пирит; 1 — изменение pH раствора; а — раствор, б — паровая фаза, в — конденсат; 2 — изменение концентрации урана (а) и тория (б) в растворе; 3 — интенсивность рудоотложения: а — большая, б — средняя, в — малая.

раствора, способствующее выпадению рудных компонентов. В этой подзоне сосуществуют разнообразные эпимагматические минералы: кварц, серицит, карбонат, хлорит, альбит, широко развиты пирит и другие сульфиды. При этом наиболее распространены серицит и кварц, нередко вытесняющие практически все первичные минералы исходных пород.

Возникновение данной ассоциации эпимагматических минералов обусловлено совместным воздействием сильно кислого конденсата и ошелоченного остаточного гидротермального раствора, которые сосуществуют выше уровня подземного вскипания.

## ПОЛОЖЕНИЕ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗОНАХ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Известные в районе проявления урановой и ториевой минерализации по минералого-геохимической характеристике могут быть объединены в четыре группы (см. рис. 40—41), которые иногда встречаются в пределах одного рудного поля, но чаще пространственно разобщены:

- А) кварц-гематит-настурановые;
- Б) карбонатно-сульфидно-настурановые;
- В) флюорит-настурановые (с торием и редкими землями);
- Г) ториевые (возможно с флюоритом или турмалином).

Пространственное положение этих разнотипных рудопроявлений находится в четкой зависимости от развития тех или иных зон гидротермально-метасоматического преобразования пород.

К центральным частям зон кислотного выщелачивания приурочены рудопроявления групп А, а к ее периферии, т. е. к барьерной подзоне, тяготеют рудопроявления группы Б. Рудопроявления группы В располагаются во внешней части зоны калиевого метасоматоза, а ториевые рудопроявления (группа Г) приурочиваются к ее внутренним частям (см. рис. 41—42). При этом рудные и эпимагматические минералы соответствующих региональных гидротермально-метасоматических зон образуют единые парагенетические ассоциации: А) настуран — гематит — кварц — серицит — гидромусковит — каолинит; Б) настуран — сульфиды (пирит, молибденит и др.) — карбонат — хлорит — серицит — (каолинит); В) настуран — флюорит — калишпат — кварц — гематит — ториевые минералы — (альбит) — (хлорит); Г) ториевые минералы — калишпат — кварц — гематит — (флюорит) — (слюда).

Таким образом, приуроченность определенных рудопроявлений к соответствующим зонам гидротермально-метасоматического изменения выступает как фактор закономерный, который необходимо учитывать при прогнозно-металлогенических исследованиях. В этой связи обращает на себя внимание отсутствие сколь-нибудь существенных концентраций урана в зонах субщелочного метасоматоза и внутренних частях зоны калиевого метасоматоза. Причины отмеченной закономерности следует искать в особенностях поведения урана в эволюционирующем гидротермальном растворе.

### О ПОВЕДЕНИИ УРАНА В ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩЕМ ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ РАСТВОРЕ В ПОВЕРХНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ

По вопросу о поведении урана в гидротермальном процессе к настоящему времени накоплен значительный фактический материал (Щербина, 1956, 1962; Рафальский, 1963; Брусиловский, 1960, Наумов, 1962; Барсуков и др., 1963; Мельников, 1966; Гаррелс, 1962; Kerr, Robinson, 1953; мн. др.). Однако в большинстве работ рассматриваются формы переноса и способы отложения урана лишь в период рудообразования в низкотемпературных приповерхностных условиях. Сложная эволюция ураноносного гидротермального раствора от уровня зарождения до уровня разгрузки изучена в настоящее время весьма слабо. Особенно мало данных по поведению урана и тория в высоко-среднетемпературном гидротермальном процессе.

Перечисленные выше группы проявлений радиоактивной минерализации охватывают широкий температурный интервал. Характер окорудных изменений и отмечающиеся минеральные парагенезисы дают основание с большой уверенностью утверждать, что кварц-гематит-настурановое оруденение (группа А) формировалось в низкотемпературных ( $\sim 150^\circ\text{C}$ ) условиях (Perio, 1953; Рафальский, 1963; др.). Столь же очевидны средне-высокотемпературные условия образования торие-

вых рудопроявлений (группа Г), сопровождающихся калиевым метасоматозом и повышенными концентрациями редких земель. Остальные группы рудопроявлений занимают промежуточное положение, а их последовательность отражает температурную зональность оруденения, соответствующую региональной гидротермально-метасоматической зональности.

В этом аспекте представляет интерес выяснение особенностей распределения радиоактивных элементов в породах различных фаций гидротермального метаморфизма. Большой статистический материал, полученный при составлении радиогеохимической карты рассматриваемого района (~2,5 тыс. определений содержания урана и ~500 определений содержания тория в коренных породах), дает основание с большой достоверностью определить фоновые содержания радиоактивных элементов в породах различных фаций гидротермально-метасоматического преобразования (табл. 19)\*.

Таблица 19

Содержание урана и тория в породах различных фаций гидротермального метаморфизма ( $n \cdot 10^{-4}\%$ )

Исходный состав пород	Фации						Неизменные породы	
	кислотного выщелачивания		субщелочного метасоматоза		калиевого метасоматоза			
	U	Th	U	Th	U	Th	U	Th
Липаритовый . . . . .	3,9	20,2	3,1	18,9	5,0	24,8	3,9	19,0
Базальто-андезитовый . . . . .	2,8	10,7	2,2	10,0	3,5	13,0	2,7	10,0

Из табл. 19 видно, что вне зависимости от состава исходных пород калиевый метасоматоз сопровождается увеличением содержания урана и тория. Более того, детальные наблюдения показывают, что концентрации калия, урана и тория в калишпатизированных разностях находятся в прямой корреляционной зависимости.

Наложение субщелочного метасоматоза приводит к выносу из пород урана. О поведении тория данные противоречивы; видимо, торий инертен в этой фации изменения, о чем свидетельствует наблюдаемое слабое увеличение торий-уранового отношения.

Наконец, кислотное выщелачивание не приводит к существенному изменению фонового содержания урана. В этих условиях уран инертен, о чем особенно наглядно свидетельствуют приведенные ниже данные.

Содержание урана в эпизагматических минералах фации кислотного выщелачивания

Минералы	Число определений	Среднее содержание ( $n \cdot 10^{-4}\%$ )	Пределы колебаний
Кварц . . . . .	6	3,9	2,9—4,7
Слюда . . . . .	13	4,3	1,5—6,0
Каолинит . . . . .	4	3,0	2,2—5,1

Упрощенный состав кислотно-выщелоченного липаритового порфира (по 8 силикатным анализам) следующий: кварц — 66,2%, слюда —

\* В горных породах содержание урана и тория определялось люминесцентным (метод Быковой) и радиохимическим анализами. Результаты обрабатывались методами математической статистики.

24,2%, каолинит — 9,6%. Отсюда содержание урана в породе, приходящейся на отдельные минералы, составит:

$$\text{в кварце } \frac{66,2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4}}{100} = 2,6 \cdot 10^{-4}\%;$$

$$\text{в слюде } \frac{24,2 \cdot 4,3 \cdot 10^{-4}}{100} = 1,0 \cdot 10^{-4}\%;$$

$$\text{в каолините } \frac{9,6 \cdot 3,0 \cdot 10^{-4}}{100} = 0,3 \cdot 10^{-4}\%;$$

$$\text{в породе } (2,6 + 1,0 + 0,3) \cdot 10^{-4} = 3,9 \cdot 10^{-4}\%.$$

Этот результат хорошо согласуется с величинами валового содержания урана в неизменных и кислотно-выщелоченных породах.

Несмотря на отмеченную выше геохимическую закономерность, в породах фации кислотного выщелачивания сосредоточена основная масса локальных ореолов и зон привноса урана, связанных с урановорудным процессом. Напрашивается вывод, что физико-химические условия кислотного выщелачивания препятствовали миграции урана, а следовательно, из попадавших в эти условия ураноносных растворов должно было происходить осаждение урана.

Обратная картина наблюдается в породах фации субщелочного метасоматоза. Можно предполагать, что ураноносный гидротермальный раствор в этих условиях оказывался недосыщенным ураном и мог выносить его из вмещающих пород, о чем свидетельствует уменьшение фонового содержания урана в измененных породах. Возможность рудоосаждения в этой зоне, видимо, крайне ограничена. Здесь можно предположить нарушение равновесия соединений урана с гидротермальным раствором лишь при встрече с породами, обогащенными очень сильными восстановителями, например битумами.

Отмеченные факты хорошо согласуются с наиболее распространенным в настоящее время теоретическим представлением о переносе урана в стадию, непосредственно предшествующую рудоотложению, в виде уранил-карбонатных комплексов (Наумов, 1962; Щербина, 1956; Гаррелс, 1962; др.). Поля устойчивости этих комплексов предопределяют их стабильность в фации субщелочного метасоматоза.

Распад уранил-карбонатных комплексов можно ожидать при достижении гидротермальным раствором термодинамического барьера на границе фаций субщелочного метасоматоза и кислотного выщелачивания. Распаду комплексов способствует отделение легколетучей фазы, и в первую очередь  $\text{CO}_2$ , что устраняет препятствие для восстановления уранил-иона и осаждения урана. Последнему будет благоприятствовать и увеличение эффективной концентрации урана за счет испарения растворителя. В барьерной подзоне настуран ассоциирует с сульфидами, кальцитом и тюрингитом. Как известно, кальцит фиксирует максимальную щелочность раствора, равновесного с карбонатами, а тюрингит отражает углекислый характер гидротерм.

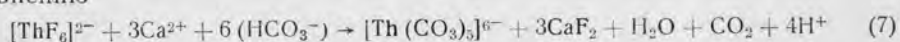
Однако в данных условиях достаточно полному осаждению урана препятствует повышенная щелочность раствора (Барсуков и др., 1963). В этих условиях часть урана (возможно, большая) будет уходить из барьерной подзоны вместе с остаточным, все еще щелочным гидротермальным раствором. Выпадение урана из раствора будет происходить при раскислении гидротермального раствора (до  $\text{pH}=4-7$ ) за счет смешения с сильно кислым конденсатом, производящим кислотное выщелачивание. Показательно, что в этих условиях осаждению настурана способствует кислая среда — кислотно-выщелоченные липаритовые порфиры, а в их пределах — скопления и тонкие прожилки кварца, с которым настуран образует теснейший парагенезис (рудопоявления группы А). Термодинамические расчеты И. В. Мельникова (1966) убедитель-

но показывают, что повышение кислотности в этих условиях является ведущим фактором осаждения настурана.

Таким образом, место и условия формирования низко-среднетемпературных урановых рудопоявлений в общем ходе эволюции ураново-рудного гидротермального процесса определяется достаточно точно.

Значительно меньше данных по поведению радиоактивных элементов в фации калиевого метасоматоза. В ней попадают рудопоявления групп Б и Г, для которых характерна значительная флюоритизация вмещающих пород. Высокотемпературные условия формирования этих рудопоявлений, отсутствие заметных скоплений карбонатов и интенсивная калишпатизация свидетельствуют о слабой роли уранил-карбонатных комплексов в процессе рудообразования. С другой стороны, обычный парагенезис с флюоритом, реже турмалином наводит на мысль об участии галоидных комплексов в переносе радиоактивных элементов, устойчивость которых в растворе, видимо, связана с концентрацией щелочей (калия).

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что формы переноса радиоактивных веществ в ходе эволюции гидротермальных растворов меняются. Вопрос этот мало освещен в современной геологической литературе. Наиболее интересные данные по эволюции форм переноса тория приведены В. В. Щербиной и Ш. А. Абакировым (1967), которые отмечают, что при понижении температуры в гидротермальном растворе комплекс  $[\text{ThF}_6]^{2-}$  заменяется комплексом  $[\text{Th}(\text{CO}_3)_5]^{6-}$  по уравнению



Реакция протекает с уменьшением щелочности раствора (ионы  $\text{H}^+$  в правой части). При перестройке комплексов вместе с флюоритом осаждается часть тория. Аналогичную смену форм переноса в гидротермальном растворе можно предположить и для урана.

Перестройка комплексов урана и тория происходит, видимо, не одновременно. Ториевые рудопоявления с флюоритом (группа Г) приурочены к более глубоким частям зон калиевого метасоматоза, чем торий-урановые с флюоритом, тяготеющие к границе зон калиевого и субщелочного метасоматоза.

Можно наметить следующую общую схему поведения урана и тория в эволюционирующем гидротермальном растворе для приповерхностных условий (рис. 41).

1. В наиболее высокотемпературном гидротермальном растворе повышенной щелочности уран и торий ведут себя сходно, мигрируя в виде галоидных, в основном, вероятно, фторсодержащих комплексов.

2. По мере падения щелочности раствора за счет реакций с вмещающими породами фторсодержащие комплексы тория первыми делаются неустойчивыми, в связи с чем происходит выпадение флюорита и торийсодержащих минералов. Таким способом в благоприятных структурных условиях, видимо, формируются рудопоявления группы Г. Однако часть тория связывается в карбонатный комплекс и может переноситься более низкотемпературными гидротермальными растворами.

3. Распад фторсодержащих комплексов урана происходит, вероятно, при более низких значениях рН, на границе фаций щелочного и субщелочного метасоматоза. Здесь также происходит выпадение флюорита и частично урана с образованием рудопоявлений группы В. При прочих благоприятных условиях на этом рубеже могут быть сформированы урановые месторождения. При высоком парциальном давлении  $\text{CO}_2$  возникают уранил-карбонатные комплексы, способные транспортировать большое количество урана (видимо, значительно большее, чем тория).

4. Широкие поля устойчивости уранил-карбонатных комплексов обеспечивают значительный пространственный отрыв карбонат-сульфидно-настурановых и кварц-гематит-настурановых рудопроявлений от вышеописанных, разделенных фацией субщелочного метасоматоза. Лишь при достижении зоны подземного вскипания (термодинамического барьера на границе фаций субщелочного метасоматоза и кислотного выщелачивания) происходит распад уранил-карбонатных комплексов с частичным осаждением урана и выпадением карбонатов. В благоприятной структурной позиции в пределах барьерной подзоны формируется оруденение группы Б. Здесь же обычно фиксируется слабое повышение концентрации тория при общем уменьшении торий-уранового отношения, что, видимо, связано с разрушением на барьере и торий-карбонатных комплексов.

5. В пределах барьерной подзоны уран сохраняет способность мигрировать в щелочных растворах. Лишь резкое повышение кислотности растворов способствует достаточно полному осаждению урана. В таких условиях образуются богатые и компактные рудные тела в зоне кислотного выщелачивания выше барьерной подзоны (рудопроявления группы А).

Отмеченные минералого-геохимические закономерности могут служить объективной основой при крупномасштабном геологическом прогнозировании.

Изучение региональной гидротермально-метасоматической зональности дает возможность получить дополнительные предпосылки для сосредоточения поисковых и оценочных работ на локальных площадях. Особо важное значение имеет выделение подзон флюоритизации и барьерной. Наложение гидротермально-метасоматических изменений, свойственных этим подзонам, на благоприятные для локализации оруденения геологические структуры может служить основанием для постановки глубинных поисковых работ для выявления нескрытого или слабо проявленного оруденения в известных урановорудных районах.

По характеру гидротермально-метасоматического преобразования пород не только определяется принципиальная возможность обнаружения уранового оруденения, но и его генетический тип и, в какой-то степени, морфология. Так, например, широкое площадное развитие процессов гидротермального метаморфизма с достаточно полным метасоматическим замещением первичных минералов указывает на возможность развития вкрапленного и метасоматического оруденения (линзообразные залежи), а выделение эпимагматических минералов по тонким трещинам в слабо измененных породах или локализация измененных пород вдоль отдельных тектонических нарушений свидетельствуют о перспективах обнаружения прожилкового и жильного оруденения. Эти факторы, как известно, являются весьма существенными при выборе методики глубинных поисков.

Однако следует иметь в виду, что сами по себе гидротермально-метасоматические преобразования отмеченных типов не определяют ураноносность изучаемых структур, так как, видимо, могут сопровождать гидротермальные процессы различной рудной специализации. Одним из существенных показателей взаимосвязи региональных гидротермально-метасоматических преобразований с урановорудным процессом является распределение радиоактивных элементов в измененных породах, выявляемое при составлении радиогеохимических карт. В этом плане весьма показательным является заметное обогащение пород фации калиевого метасоматоза ураном и торием, свидетельствующее об ураноносности воздействовавших гидротермальных растворов. Широкие поля повышенных концентраций калия, урана и тория обычно хорошо фиксируются методами аэрогаммаспектрометрии, в связи с чем они могут быть выделены на первых этапах перспективной оценки территории. Прямыми призна-

ками проявления урановорудного процесса являются геохимические ореолы повышенных концентраций урана в коренных породах в связи с определенными типами гидротермально-метасоматических изменений. Особый интерес представляет повышение концентрации урана в породах барьерной подзоны и подзоны флюоритизации, как правило, локализованные в конкретных потенциально рудоносных структурах.

Предлагаемая схема поведения радиоактивных элементов в приповерхностных условиях протекания гидротермального процесса не является универсальной, хотя она в той или иной мере подтверждается во многих урановорудных районах палеозойских складчатых областей. До настоящего времени не проводилось сколь-либо серьезного сравнительного изучения зонального распределения разнотипных проявлений урановой и ториевой минерализации, взаимосвязанных с региональным гидротермально-метасоматическим преобразованием пород.

Тем не менее, уже сейчас очевидно, что использование закономерностей образования зон региональных гидротермально-метасоматических изменений и зонального расположения разнотипных рудопроявлений урана и тория в комплексе с результатами площадных радиогеохимических исследований дает дополнительную объективную информацию для крупномасштабного прогнозирования. Подобные исследования целесообразно включать в комплекс крупномасштабного специализированного геологического картирования.

### **О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПРОЯВЛЕНИЯ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ И ОСОБЕННОСТЯХ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УРАНОНОСНЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПО УРАНУ РАЙОНАХ**

Изложенные в работе данные наглядно иллюстрируют исключительное многообразие геологических обстановок, являвшихся благоприятными для локализации промышленного уранового оруденения различных генетических типов. Полученные к настоящему времени материалы свидетельствуют об устойчивых общих закономерностях развития урановых месторождений определенных типов в пределах древних платформ и их щитов, складчатых областей, молодых платформ, областей активизации перечисленных структур. Условия формирования уранового оруденения и его критерии определяются, в первую очередь, особенностями геотектонического развития конкретных регионов. Поэтому геологические условия проявления уранового оруденения рассмотрены в работе на основе этого важнейшего фактора.

Типы уранового оруденения рассмотрены в монографии отдельно по двум ведущим генетическим классам — эндогенному и экзогенному. Вместе с тем, в пределах регионов нередко пространственно близко ассоциируют как эндогенные, так и экзогенные месторождения. В одних случаях и те и другие неразрывно связаны с процессами становления главных структурных элементов земной коры и отражают определенную стадийность формирования последних; в других урановое оруденение не связано с этими процессами, значительно оторвано от них во времени и обусловлено уже качественно иными процессами стадии активизации. Однако ранее сформированные консолидированные структуры при наложении на них процессов тектоно-магматической активизации не ведут себя пассивно. Физические и механические свойства слагающих их пород, геохимическая специализация геологических формаций, часто во многом зависящая от интенсивности и характера регионального метаморфизма и ультраметаморфизма, являются важными факторами, определяющими возможность проявления промышленного уранового оруденения в областях активизации. Как отмечалось выше,

первичноосадочные и других типов концентрации урана в каждую последующую стадию структурной перестройки региона, сопровождаемой магматизмом, изменением климатической обстановки и т. п., в силу высокой подвижности элемента могут вовлекаться в новые геологические процессы.

Проблема взаимообусловленности различных генетических типов уранового оруденения, последовательно возникавших в различных геологических обстановках, приобретает в настоящее время практическое значение. Д. Я. Суражский (1960), например, отмечал, что «...пространственная связь экзогенных и эндогенных месторождений урана является весьма важным поисковым критерием». В. Н. Котляр (1961) также подчеркивал, что между гидротермальными и осадочными месторождениями имеется некоторая связь, выраженная не во взаимопереходах, а во взаимообусловленности. Еще более определенно развивает эту идею В. И. Смирнов (1963), отмечая, что «...нет районов гидротермального уранового оруденения вне площадей развития ураноносных осадочных формаций».

Рассмотрим основные закономерности проявления уранового оруденения и особенности специализации геологических исследований в ураноносных и перспективных на уран районах.

### ДРЕВНИЕ ПЛАТФОРМЫ И ИХ ШИТЫ

Определяющими факторами эндогенного рудообразования на шитах являлись региональный метаморфизм и ультраметаморфизм. Они обусловили интенсивное перераспределение петро- и рудогенных элементов при последовательном изменении пород в условиях метаморфизма, при многостадийных процессах гранитизации, образования анатектоидных магматических очагов, перемещения минерализованных растворов (в условиях благоприятной структурной обстановки) в зоны более низких фаций метаморфизма. Интенсивное проявление регионально-метаморфических и ультраметаморфических процессов создает большие трудности при геологическом картировании таких районов и при определении места уранового оруденения в этих сложнейших процессах.

Устанавливается тесная пространственная связь уранового оруденения с глубинными разломами и аплитовидными и пегматоидными гранитами — наиболее поздними продуктами ультраметаморфизма. В краевых, преимущественно экзоконтактных зонах массивов гранитов известны месторождения урана в пегматитах граносиенит-сиенитового состава (кальцито-флюорито-апатито-уранинитовая формация). В экзоконтактных нарушенных глубинными разломами зонах крупных массивов локализуются обширные поля пегматитовых мигматитов с промышленным урановым оруденением (уранинитовая формация). В аналогичной позиции находятся гидротермальные метасоматические урановые месторождения настуран-ненадкевитовой и уранинит-настурановой урановорудных формаций.

Такая пространственная позиция уранового оруденения предопределила в качестве важного направления специализации крупномасштабного геологического картирования детальное изучение экзо- и эндоконтактных зон крупных массивов гранитов, рассеченных глубинными долгоживущими разломами, с которыми сопряжена сложная система оперяющих их зон милонитов и катаклазитов в приконтактных и особенно в прикупольных частях массивов существенно калиевых гранитов в местах соприкосновения пород различных плотностей. Урановое оруденение в таких зонах связано с многостадийными процессами щелочного и карбонатного метасоматоза, проявлявшимися в зонах милонитов и катаклазитов и особенно в местах пересечения разно направленных зон. Выявление в их пределах участков развития продуктов по-

следовательных стадий метасоматического изменения вмещающих пород (эгиринов, альбититов, зон сиенитизации и карбонатизации), установление закономерностей их пространственного размещения является важнейшей задачей специализации на уран геологического картирования.

Большое значение при картировании придается также изучению состава метаморфических толщ. Урановое оруденение наиболее часто локализуется в зонах катаклизмов с проявленными в них многостадийными процессами щелочного и карбонатного метасоматоза среди пород повышенной основности (пироксеновых гнейсов, амфиболитов), железистых кварцитов, графитовых гнейсов, кристаллических сланцев, богатых глиноземом. С проявлениями щелочного и карбонатного метасоматоза в условиях толщ основных пород, богатых железом и титаном, связывается также образование высокотемпературного гидротермального магнетит-ильменит-давидитового и кальцит-скаполит-давидитового оруденения.

Важная роль пород, богатых основаниями, и железистых кварцитов в локализации уранового оруденения обуславливает возможности эффективного применения на первом этапе крупномасштабных геологических исследований методов магнитометрической съемки.

С формированием вулканогенно-осадочных отложений протерозойского возраста, несогласно залегающих на размытой поверхности архейских структур, претерпевших длительное континентальное выветривание, связаны крупные концентрации урана в урановых, золото-урановых и торий-урановых месторождениях, локализующихся в кварцит-конгломератовых толщах терригенной и терригенно-вулканогенной формаций региональных протерозойских прогибов и блоковых структур.

Уранинитовое, уранинит-браннеритовое, тухолитовое, золото-уранинитовое оруденение приурочено к кварцевым конгломератам, гравелитам, кварцитам, относящимся к образованиям дельтовых, пролювиальных, аллювиальных фаций.

Рудоносные кварцито-конгломератовые отложения пространственно локализованы в погребенных депрессиях (палеореки, палеопотоки, палеодельты) в архейском фундаменте. Специализация крупномасштабного геологического картирования этих районов заключается в обязательном составлении литолого-фациальных карт (и профилей) и установлении важнейших палеогеографических особенностей района (предполагаемые области сноса терригенного материала, развитие древней речной сети и т. д.).

Очень важны наблюдения над косою слоистостью, ориентировкой и составом галек и другими признаками, определяющими фациальную принадлежность кварцито-конгломератовых толщ. Необходим также сбор материалов о характере цикличности осадкообразования вмещающих оруденение формаций (в связи с неоднократной повторяемостью уранового оруденения в разрезе), о наличии или отсутствии гидротермальных проявлений урана вблизи районов развития ураноносных конгломератов, что может в дальнейшем дать ключ к познанию источника урана в сопряженных с конгломератами урановых месторождениях эндогенного типа.

Вместе с тем не исключена правомерность представлений о возможном экзогенном эпигенетическом происхождении уранового оруденения в конгломератах. Поэтому важными задачами при картировании древних конгломератовых толщ является изучение их литохимических особенностей, выделение участков, обогащенных сингенетическими и эпигенетическими восстановителями, установление элементов эпигенетической зональности.

Тектоно-магматическая активизация щитов древних платформ в достоверно установленных случаях нашла выражение в интенсифика-

ции тектонических движений по зонам длительно развивавшихся глубинных разломов и в проявлении по ним сложного комплекса вулканогенно-интрузивных образований субщелочной и щелочной (преимущественно калиевого рода) формаций. Урановое оруденение подчинено четкому структурному контролю. Рудоконтролирующими являются: а) протяженные разломы и оперяющие их трещины в приподнятых блоках кристаллического фундамента; б) сложные системы оперяющих трещин непосредственно в магматических телах субщелочной и щелочной вулканогенно-интрузивной формации стадии активизации, приуроченных к узлам пересечения долгоживущих разломов. В случае проявления вулканогенно-интрузивного магматизма стадии активизации важным при крупномасштабном геологическом картировании является формационно-фациальный анализ. В других случаях специализация должна идти по пути углубленного изучения генетических и морфологических особенностей разрывных нарушений. Древние разломы, связанные с развитием кристаллического фундамента, картируются в виде региональных бластомилонитовых и бластокатаклазитовых швов. Тектонические нарушения стадии активизации часто развиваются по этим древним швам или оперяют их, но проявлены более локализованно и представлены зонами интенсивного катаклаза и брекчирования. Выделение таких зон по простиранию, а также установление характера и интенсивности гидротермальных изменений — сульфидизации, флюоритизации, окварцевания, баритизации и др. — важные элементы прогнозирования участков зон с наиболее вероятной локализацией уранового оруденения.

В связи с интенсивными блоковыми подвижками, в том числе и пострудными, имевшими место в зонах тектоно-магматической активизации, в ряде случаев представляется необходимым или целесообразным составление дополнительно к геологической карте специальной карты блокового строения, позволяющей определить глубину эрозионного среза ураноносных зон и, следовательно, возможный вертикальный размах оруденения.

#### ФАНЕРОЗОЙСКИЕ СКЛАДЧАТЫЕ ОБЛАСТИ

При проведении крупномасштабного геологического картирования в ураноносных и перспективных по урану фанерозойских складчатых областях необходимо углубленное изучение отложений геосинклинальной кремнисто-сланцевой формации, с которыми связано сорбционно-диагенетическое урановое оруденение в углеродистых сланцах и фосфоритах, и особенно районов интенсивного проявления позднеорогенного вулканогенно-интрузивного магматизма, характеризующихся промышленным урановым оруденением гидротермального типа. Важным также представляется изучение сопряженных с вулканическими поясами наложенных впадин и прогибов позднеорогенной стадии, в терригенных отложениях которых локализуются экзогенные месторождения урана.

В формировании осадочных месторождений урана в отложениях кремнисто-сланцевой формации ведущая роль в одних случаях принадлежит процессам сорбции урана из водных растворов органическим веществом, в других — сосаждению урана с фосфатом кальция в стадии седиментогенеза и в основном раннего диагенеза главным образом в условиях восстановительной обстановки. По условиям формирования ураноносные отложения относятся к мелководно- и прибрежно-морским терригенным и терригенно-хромогенным фациям. В большинстве случаев отмечается прямая зависимость концентраций урана от содержания органического углерода или фосфора.

Основными методами изучения первичноураноносных отложений геосинклинальной кремнисто-сланцевой формации в процессе крупно-

масштабного специализированного картирования являются фаціаль-ный анализ и литохимические исследования.

Важным при изучении первичноураноносных отложений является также выявление обстановок, благоприятных для образования под воздействием термальных вод эпигенетических концентраций урана, образующих в ряде мест промышленные месторождения. С этой целью тщательно изучаются характер и интенсивность складчатых и разрывных структур. Благоприятными для локализации эпигенетического уранового оруденения являются разрывные нарушения, обусловленные складчатыми движениями: зоны повышенной трещиноватости, дробления, послойного рассланцевания на участках замыкания антиклинальных и синклинальных складок, соскладчатые надвиги и сбросы и др. В более широком плане перспективы таких районов на эпигенетическое урановое оруденение определяются наличием крупных разломов, обеспечивающих возможность циркуляции термальных вод.

Большое значение при картировании отложений кремнисто-сланцевой формации и выяснении перспектив выявления эпигенетических месторождений в них придается изучению метаморфизма пород с выделением на карте метаморфизма или специальной накладке к геологической карте отложений, претерпевших изменения. При этом наиболее важно выделение площадей развития углеродистых сланцев, измененных в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма, так как в этих условиях связи урана с углеродом наименее прочны. Изучению первичноураноносных осадочных формаций придается все большее значение, как вероятному источнику урана при формировании урановых месторождений других типов.

Гидротермальное средне- и низкотемпературное близповерхностное урановое оруденение размещается в районах интенсивного проявления вулканогенно-интрузивного магматизма позднеорогенной или периода активизации стадии развития. Оно представлено несколькими минерально-парагенетическими ассоциациями, в числе которых преобладает настурановая формация. Пространственное положение палеовулканических поясов, формирующихся на гетерогенном фундаменте, и локальных центров магматизма контролируется системами региональных разломов по краям приподнятых тектонических блоков и срединных массивов, вдоль границ складчатых областей с различным временем завершения складчатости. В типичных случаях для ранних стадий позднеорогенного магматизма характерно проявление трахиандезито- и андезитодиоритовой формации, а для более поздних — липарито-гранитовой с повышенной щелочностью и иногда трахито-сиенитовой формаций.

Основным методом геологического изучения при картировании таких ураноносных районов является формационно-фаціальный анализ. Этот метод обеспечивает расчленение полифациальных магматических образований по их составу и принадлежности к тем или иным формациям, по условиям их образования, а также, что наиболее важно, по фациям глубинности с выделением групп вулканической наземной, экстрезивной, жерловой, субвулканической (приповерхностной), гипабиссальной фаций магматизма, подразделяемых, в свою очередь, на ряд подгрупп и субфаций.

Урановое оруденение контролируется кольцевыми и линейными разломами и приуроченными к ним поясами даек и некков по периферии крупных палеовулканов с кальдерной стадией развития, зонами повышенной проницаемости в породах жерловой фации вулканов линейного типа, трещинными зонами в экстрезивных куполах, разрывными нарушениями в структурах фундамента особенно там, где прослеживается корневая система палеовулканов.

Часто рудоконтролирующие разрывные нарушения не имеют отчетливого выражения на поверхности и картирование их представляет

очень сложную задачу. Палеовулканические пояса фиксируют положение крупных региональных разломов глубокого заложения и длительного развития, а отдельные центры многофазного полифациального магматизма подчеркивают наиболее проницаемые участки таких тектонических зон. Наряду с этим устанавливается, что с процессами развития крупных вулканических аппаратов связано образование рудоконтролирующих разрывных нарушений — линейных, кольцевых, дугообразных, — которые в большинстве случаев являлись и магмоподводящими. При крупномасштабном геологическом картировании на основе формационно-фациального анализа такие разрывные нарушения устанавливаются по кольцевому, дугообразному или линейному расположению субвулканических интрузий, дайковых поясов, пород жерловой фации.

Наряду с ведущей рудоконтролирующей ролью разрывных нарушений, важное значение могут иметь состав вмещающих урановое оруденение пород, а также состав и глубина расположения пород фундамента, вулканических поясов и отдельных тектоно-вулканических структур.

Для позднеорогенной (или периода активизации) стадии развития складчатых областей характерно образование наложенных впадин и краевых прогибов, выполненных отложениями пестроцветной терригенной формации, для которой типичны аллювиальные, пролювиальные, реже лагунные фации. В пределах таких структур известны проявления экзодиагенетического селено-уранового оруденения.

Обращает на себя внимание близкая пространственная сопряженность таких структур с районами интенсивного проявления позднеорогенного вулканизма. Во многих случаях продукты наземного вулканизма и приуроченное к этим районам гидротермальное урановое оруденение являются источниками урана при формировании экзодиагенетических месторождений в наложенных впадинах.

При изучении районов, перспективных на этот тип оруденения, специализация работ заключается в тщательных литолого-фациальных исследованиях, результаты которых отражаются на литолого-фациальной карте или в виде специальной накладки к геологической карте. Одной из задач этих исследований является расчленение отложений по условиям их образования, т. е. выделение фаций длительно действовавших рек, временных потоков, лагун, озер, подводных дельт и т. п. Фиксируются и отражаются на карте изменения окраски пород, по которой с учетом характера изменения мощностей отложений, сортированности и окатанности слагающего их материала выделяются зоны фациального замещения пестроцветных аллювиальных отложений красноцветными пролювиальными, благоприятными для локализации уранового оруденения.

В областях с завершенной складчатостью, в ходе, по существу, уже платформенной стадии их развития, устанавливается наложение интенсивных тектоно-магматических процессов, рассматриваемых как процессы активизации. С ними связано формирование гидротермальных месторождений урана большой практической ценности.

Системы протяженных региональных разломов и оперяющих их тектонических нарушений установлены в зонах сопряжения древних срединных массивов и их складчатого обрамления и в прибортовых частях внутренних наложенных прогибов в пределах срединных массивов.

Разломы контролируют размещение дискордантных многофазовых интрузий гранитоидов и полей даек кислого и субщелочного состава. Такие районы представляют большой интерес в отношении промышленных месторождений урана, представленных сульфидно-арсенидно-настурановой («пятиэлементной»), кварцево-карбонатно-настурановой, карбонатно- и сульфидно-настурановой урановорудными формациями. Определяющим является структурный контроль оруденения, в ряде слу-

чаев сочетающийся с благоприятными литологическими и литохимическими факторами.

В некоторых складчатых областях мощные зоны региональных разломов стадии активизации обуславливают развитие наложенных впадин и угленосных грабен на гетерогенном складчато-блоковом фундаменте и контролируют проявление сложного по составу полифациально-вулканогенно-интрузивного магматизма. Для этих районов характерно урановое оруденение флюорито-иордизито-настурановой, кремнисто-настурановой, кремнисто-мышьяково-настурановой формаций.

Отчетливо проявлен структурный контроль оруденения, которое приурочено к разломам в породах складчатого фундамента с проявлениями магматизма стадии активизации и к зонам интенсивной трещиноватости и дробления в магматических породах этого же периода. В слабометаморфизованных вулканогенных и пролювиально-аллювиальных отложениях стадии активизации рудоконтролирующая роль разрывных нарушений иногда проявлена не столь очевидно, оно может затушевываться литологическими факторами контроля.

Урановое оруденение стадии тектоно-магматической активизации складчатых областей формировалось в условиях жестких консолидированных структур, контрастных тектонических движений блокового типа, концентрированного проявления региональных разрывных нарушений и оперяющих их систем более мелких разломов и трещинных зон, в условиях интенсивного малоглубинного, близповерхностного и поверхностного магматизма различного состава. Главными направлениями специализации геологических исследований в таких районах являются формационно-фациальный анализ магматических образований и всестороннее углубленное изучение генетических и морфологических особенностей разрывных нарушений, как важнейшего рудоконтролирующего фактора. В пределах выделяемых перспективно ураноносных зон более тщательно изучаются возможности литологических и литохимических факторов контроля оруденения.

### МОЛОДЫЕ ПЛАТФОРМЫ

С формированием осадочного чехла молодых платформ тесно связано образование экзогенных месторождений урана двух генетических типов.

Осадочные сорбобиогенные фосфорно-урановые (с редкими землями) месторождения известны в областях сочленения платформы с окраинными прогибами; они локализируются среди отложений терригенно-глинистой формации на склонах поднятий в локальных прогибах и в западинах эрозионно-тектонического происхождения. Оруденение связано с фосфатизированными костными остатками рыб в пачках зелено-серых глин прибрежно-морской сероводородной фации. Области развития перспективных по урану отложений прибрежно-морской фации, а также и собственно рудные тела (участки скопления фосфатизированных костных остатков рыб) характеризуются значительными площадными параметрами. Главное направление специализации геологических исследований в этих районах заключается в составлении литолого-фациальных карт и профилей, главным образом по данным бурения. Эффективно применение гравиметрической и сейсмической съемок, позволяющих выделять структуры наиболее вероятного развития ураноносных отложений прибрежно-морских фаций (зона перехода мелководной части шельфа в глубоководную).

Другой тип уранового оруденения представлен осадочно-диагенетическими месторождениями урана в отложениях терригенной угленосной формации, развитой в межгорных и предгорных прогибах этапа пенепленизации платформ. Благоприятными в отношении уранового

оруденения являются отложения фаций аллювиальных равнин, прирусловых и торфяно-болотных, представленные ритмично чередующимися пачками неметаморфизованных терригенных отложений и углей низкой степени углефикации. Оруденение многоуровневое, проявлено преимущественно в краевых частях угленосных бассейнов в пластах угля с повышенной зольностью и в прирусловых песчаниках.

Литологический и фациальный контроль оруденения обуславливают в качестве основного направления специализации при геологическом картировании таких районов литолого-фациальные исследования, которые должны быть достаточно представительными, так как ураноносные отложения характеризуются резкой фациальной изменчивостью и наличием многочисленных размывов.

Молодые платформы представляют большой интерес в связи с тем, что с периодами их активизации связано образование промышленных урановых месторождений нескольких генетических типов. В практических целях в пределах молодых платформ необходимо различать области активизации с интенсивно проявленным магматизмом (области или зоны тектоно-магматической активизации) и сводово-глыбовые области, где активизация выразилась в образовании крупных сводовых поднятий и контрастных дифференцированных блоковых движений без проявленного на поверхности магматизма. Для областей тектоно-магматической активизации ведущим является эндогенное урановое оруденение, в сводово-глыбовых областях — экзогенное урановое оруденение. Естественно, что направление специализации работ при крупномасштабном геологическом картировании прежде всего исходит из этих обстоятельств.

Зоны тектоно-магматической активизации установлены в краевых частях некоторых молодых платформ. С разрывными нарушениями глубокого заложения пространственно ассоциируют последовательно проявленные во времени магматические образования трахиандезитовой (андезитовой) вулканогенной формации и многофазовые дискордантные интрузии монзонитов и гранодиоритов. Урановое оруденение представлено настурановой, карбонатно-настурановой, настурано-антраксолитовой, сульфидно-настурановой урановорудными формациями и локализуется в благоприятных структурных обстановках в самых различных комплексах пород — в осадочных отложениях геосинклинальной стадии развития, в гранитах синорогенных интрузий, в осадочных и вулканогенных образованиях позднеорогенных впадин и в аналогичных по типу породах стадии активизации.

Для сводово-глыбовых областей характерны экзогенные эпигенетические месторождения урана. Основной их особенностью является афаціальность уранового оруденения. Рудные концентрации подчиняются эпигенетической (наложенной) минералого-геохимической зональности, которая отражает результат взаимодействия подземных ураноносных вод с литифицированными проницаемыми осадочными отложениями. Во всех случаях уран и сопутствующие ему полезные компоненты привносятся в эти отложения извне.

Экзогенное эпигенетическое оруденение, в связи с его формированием подземными водами в районах молодых платформ с пологозалегающим чехлом осадочных отложений, в большинстве случаев не проявлено на поверхности или лишь слабо фиксируется по некоторым косвенным признакам. Поэтому как бы ни детализировались наблюдения при геологическом картировании поверхности таких районов, они не могут дать информацию, необходимую для прогнозирования и поисков месторождений. Эти задачи решаются преимущественно общими геофизическими методами, колонковым бурением, радиогидрогеологическими исследованиями. Обязательным итогом их является составление

тектонических, палеогеографических, литолого-фациальных, радиогидрогеологических карт.

Возможность проявления уранового оруденения в водопроницаемых горизонтах различных частей разреза осадочных толщ обуславливает необходимость составления погоризонтных литолого-фациальных карт.

Наряду с установлением и изучением литологических и фациальных особенностей осадочных отложений, важнейшее значение приобретают детальные исследования характера и интенсивности различных эпигенетических изменений пород, отражаемых на специальных погоризонтных картах эпигенетических изменений. При составлении таких карт, кроме определения текстурных и структурных особенностей пород, их окраски и т. п., фиксируемых визуально при описании керна, решающее значение имеют минералого-геохимические исследования, позволяющие установить важные закономерности смены минеральных парагенезисов, направленность и интенсивность процессов выноса — привноса урана и сопутствующих ему компонентов. Во многих случаях необходимо применение химико-битуминологических исследований (определение количества и типа битумов, степени их окисленности, наличия твердых битумов и их ураноносности, выяснение закономерности распределения битумов в эпигенетических зонах).

Карты эпигенетической зональности строятся на литолого-фациальной основе с нанесением основных данных по структурам, радиогидрохимии, гидродинамике. На них в конечном итоге выделяются области мобилизации и накопления урана и сопутствующих ему селена, молибдена и других элементов и оконтуривается предполагаемая зона промышленленных концентраций урановых руд, которая и детализируется в процессе дальнейших поисково-разведочных работ.

Интересными в отношении промышленной ураноносности представляются также области проявления слабых дифференциальных неотектонических движений, в пределах которых установлены экзогенетические урановые месторождения в отложениях различных фаций (озерных, болотных, русловых) погребенных аллювиальных равнин. Важнейшим условием формирования экзогенетического оруденения указанного типа явилось широкое развитие в областях сноса гранитов и пегматитов с резко повышенными против кларка содержаниями урана в легкоподвижной форме, а также гидротермальных урановых рудопроявлений. Таким образом, и в этом случае достаточно определенно проявляется обусловленность формирования уранового оруденения нового генетического типа наличием типов концентраций урана, вовлекаемых в более поздние процессы перераспределения металла.

Многообразие геологических обстановок проявления уранового оруденения делает очень сложными задачи крупномасштабного геологического картирования и прогнозирования в ураноносных и перспективных по урану районах. Эта сложность возрастает из года в год, так как фонд легко открываемых с поверхности месторождений во многих регионах почти исчерпан, в связи с чем перед специализированным крупномасштабным картированием и прогнозированием становится основной задачей — выявление локальных геологических структур и геохимических обстановок, благоприятных для глубинных поисков не выходящих на поверхность или слабо проявленных урановых месторождений. Эта важнейшая задача определяет необходимость не только глубокого геологического анализа всего материала при проведении специализированного картирования, но и применения геофизических и геохимических методов исследования, без которых невозможно повышение глубинности поисков. Рациональное комплексирование грави-, магнито- и электро-разведки с геохимическими методами при тектонических, петрологических, металлогенических, литолого-фациальных, палеогеографических и

других видах исследований в процессе крупномасштабных съемочных работ является в настоящее время совершенно необходимым.

Следует в этой связи еще раз подчеркнуть важное место, которое приобрели в последние годы геохимические методы, в частности изучение первичноконституционального распределения U, Th и K в породах и рудах и его нарушений в связи с процессами гидротермального метаморфизма, изучение миграции радиоактивных элементов в земной коре при региональной метаморфизме и ультраметаморфизме. Изучение этих взаимосвязанных процессов, кроме того, что способствует решению практических задач по поискам урановых руд, дает очень ценный материал для обоснования выводов об источнике вещества в урановорудном процессе, о происхождении ряда типов промышленных концентраций урана и классификации его месторождений.

Необходимо отметить, что накопленный большой материал говорит о целесообразности пересмотра ряда сложившихся представлений о генезисе урановых концентраций в земной коре.

Так, все большее значение придается процессам метаморфогенного рудообразования. Пересматривается вопрос о характере границы между гидротермальными и экзогенными эпигенетическими урановыми месторождениями и высказываются обоснованные соображения о наличии группы промежуточных месторождений, о роли вмещающих толщ и подземных вод в формировании ряда гидротермальных месторождений, и в свою очередь, о влиянии эндогенных растворов на образование экзогенных эпигенетических концентраций урана при смешении этих растворов с поверхностными водами и т. д.

В заключение необходимо указать, что дальнейшее развитие крупномасштабного геологического картирования и повышение эффективности прогнозирования и поисков урановых месторождений на его основе неизбежно будет развиваться в сторону количественной оценки геологических явлений и рудоконтролирующих факторов (внесение «меры» и «числа» в комплекс геологических исследований), количественной оценки перспектив ураноносности отдельных рудных полей и прогнозирования величины ожидаемых запасов.

Вопросы экономики специализированного крупномасштабного картирования в ураноносных и перспективных по урану районах не нашли отражения в настоящей работе, так как это большая специальная тема, требующая в дальнейшем разработки совместными усилиями геологов и экономистов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Альтгаузен М. Н. Причины возникновения эпохи накопления редких металлов и фосфора в морских осадках нижнего палеозоя. М., Госгеолтехиздат, 1956.
- Атрашенко Л. Я., Крылов А. Я. О радиоактивном равновесии в породах Восточной Антарктиды. Радиогеохимия, т. 5, вып. 2, 1963.
- Аэрогаммаспектрометрический метод поисков месторождений урановых руд (методическое руководство). МГ СССР, 1967.
- Баддингтон. Формирование гранитных тел. М., ИЛ, 1959.
- Барсуков В. А., Наумов Г. Б., Соколова Н. Т. Поведение урана в процессах образования гидротермальных жильных месторождений. В кн. Основные черты геохимии урана. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Батулин С. Г., Головин Е. А., Зеленова О. И. и др. Экзогенные эпигенетические месторождения урана (условия образования). Под ред. Перельмана А. И. М., Атомиздат, 1965.
- Безгубов А. И., Бывших Ю. И., Деметьев П. К. и др. Уран в древних конгломератах. М., Атомиздат, 1963.
- Белюсов В. В. Явление тектонической активизации в развитии земной коры. В кн. Активизированные зоны земной коры. М., «Недра», 1964.
- Белюсов В. В. Земная кора и верхняя мантия материков. М., «Наука», 1966.
- Беус А. А., Северов Э. А., Ситин А. А., Субботин К. Д. Альбитизированные и грейзенированные граниты (апограниты). М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Биллиби Ю. А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М., Госгеолтехиздат, 1955.
- Богданов А. А., Муратов М. В., Ханн В. Е. Об основных структурных элементах земной коры. БМОИП, т. 38 (3), 1963.
- Бронгерссма-Сандерс М. Массовая гибель организмов в морях. ОНТИ ВИМС, вып. 30, 1962.
- Брусилковский С. А. Исследование условий осаждения гидроокиси урана из низкотемпературных водных растворов. Тр. ГЕОХИ, вып. 42, 1960.
- Быкова В. С. Ускоренный метод химической подготовки к определению урана в горных породах. В кн. Сборник работ по радиохимии. Л., Изд-во ЛГУ, 1955.
- Василенко В. Н., Дмитриев А. В., Ионов В. А. и др. Применение гамма-спектральной съемки в геологии. Сов. геология, № 10, 1963.
- Вернадский В. И. Избранные сочинения. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. М., Изд-во МГУ, 1955.
- Виноградов А. П. Среднее содержание элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, № 7, 1962.
- Влодавец В. И. О кайнозойском вулканизме на Камчатке. Бюллетень вулканологической станции на Камчатке, № 9, 1941.
- Войткевич Г. В. Проблемы радиогеологии. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Вольнец М. П. Определение тория ионообменно-фотометрическим методом с арсеназо-III. Завод. лабор., № 26, 1960.
- Воробьев В. П., Грушевой Г. В. Генезис экзогенных месторождений урана в осадочных породах. Геология рудных месторождений, № 3, 1966.
- Воробьев В. П., Грушевой Г. В., Оношко И. С., Шор Г. М. О теории эпигенетического рудообразования. Сов. геология, № 5, 1967.
- Гаврилин Р. Д., Злобин Б. И., Леонова Л. Л., Певцова Л. А., Агафонникова Л. С., Классова Н. С. Геохимия варисских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня. М., «Наука», 1966.
- Гаррелс Р. Минеральные равновесия при низких температурах и давлениях. М., ИЛ, 1962.

Геология гидротермальных урановых месторождений. Под ред. Д. И. Шербакова, Ф. И. Вольфсона. М. «Наука», 1966.

Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. Под ред. Ф. И. Вольфсона. М. «Наука», 1968.

Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных металлов. М., Госгеолтехиздат, 1957.

Гинзбург И. И., Россман Г. И., Муқанов К. М., Борисевич И. В., Гольман Ю. В., Иванов И. Б., Чернышев И. В. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. М., «Недра», 1966.

Готман Я. Д., Зубрев И. Н. Генетическая классификация урановых месторождений. Сов. геология, № 3, 1963.

Давыдова Л. Н., Шапошников Г. Н. Геологические условия образования давидита (на примере одного из районов). Зап. Всесоюз. минер. об-ва, 2 сер., ч. 95, 1966.

Домарев В. С. Урановые месторождения капиталистических стран. М., Госгеолтехиздат, 1956.

Данчев В. И., Лапинская Т. А. Месторождения радиоактивного сырья. М., «Недра», 1965.

Данчев В. И., Стрелянов Н. П., Шиловский П. П. Образование экзогенных месторождений урана и методы их изучения. М., Атомиздат, 1966.

Дворцова К. И., Горцевский А. А. Распределение урана и некоторых других элементов-примесей в магматических породах девонского возраста. Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., т. 95, 1963.

Евсеева Л. С., Фомина Н. П., Кочетков В. И., Суражский Д. Я. К вопросу об условиях образования и классификация экзогенных эпигенетических месторождений урана. В сб. Вопросы прикладной радиогеологии, вып. 2, М., Атомиздат, 1967.

Жарников В. А., Омеляненко Б. И. Некоторые проблемы изучения изменений вмещающих пород в связи с металлогеническими исследованиями. В сб. Изучение закономерностей размещения минералов при металлогеническом исследовании рудных районов. М. «Недра», 1965.

Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ в масштабе 1:1 000 000 и 1:500 000. М., Госгеолтехиздат, 1955а.

Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ в масштабе 1:200 000 и 1:100 000. М., Госгеолтехиздат, 1955б.

Инструкция по составлению и подготовке к изданию государственной геологической карты СССР и карты полезных ископаемых СССР масштаба 1:1 000 000. М., Госгеолтехиздат, 1955.

Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ в масштабе 1:50 000 и 1:25 000. М., Госгеолтехиздат, 1956.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965.

Каблуков А. Д., Сочеванов Н. Н. и др. Использование ореолов рассеяния урана и элементов-спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений. Метод. рук.-во. М., «Недра», 1964.

Казанский В. И., Крупеников В. А., Омеляненко Б. И., Прусс А. К. О структурах и петрологических условиях образования ураноносных альбитов. Геология рудных м-ний, № 1, 1968.

Казмин В. Н., Орлов И. В. К вопросу о принципах составления геохимических карт при геологической съемке. Сов. геология, № 6, 1966.

Капков Ю. Н., Квятковский Е. М., Яковлев В. И. Основные принципы составления геохимических карт масштаба 1:50 000. Зап. ЛГИ, т. 1, вып. 2, 1966.

Карпова Е. Д. Сводово-глыбовые области и их металлогения. Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., т. 155, 1968.

Кац Дж., Рабинович Е. Химия урана. М., ИЛ, 1954.

Каширцева М. Ф. Минералого-геохимическая зональность инфильтрационных рудопроявлений урана. Сов. геология, № 10, 1964.

Кен А. Н. Металлогения девона Саяно-Алтайской складчатой области. В кн. Материалы по геологии Саяно-Алтайской складчатой области. Л., «Недра», 1967.

Ковалевский А. Л. Опыт использования металлотрических проб для поисков радиоактивных элементов. Разведка и охрана недр, № 7, 1960.

Константинов М. М. Поиски урановых руд в зарубежных странах. Развитие и охрана недр, № 4, 1955.

Константинов М. М. Повские критерии месторождений урана. Атомная энергия, т. 8, вып. 3, 1960.

Константинов М. М., Куликова Е. А. Урановые провинции. М., Атомиздат, 1960.

- Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. В кн. Основные проблемы в учении о магматических рудных месторождениях. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Котляр В. Н. Древние металлоносные конгломераты. Сов. геология, № 11, 1960.
- Котляр В. Н. Геология месторождений урана. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Кренделев Ф. П. Перспективы поисков древних металлоносных конгломератов в Сибири. Геология и геофизика, № 3, 1965.
- Кренделев Ф. П., Дмитриев А. И., Журавлев Ю. И. Сравнение геологического строения зарубежных месторождений докембрийских конгломератов с помощью дискретной математики. ДАН СССР, т. 173, № 5, 1967.
- Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М., «Недра», 1964.
- Леонова Л. Л. Уран и торий в гидротермально измененных породах г. Кызыл-Омпул (Северный Тянь-Шань). Геохимия, № 6, 1963.
- Львов Б. К. К методике изучения акцессорных минералов в гранитоидах. В кн. Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Свердловск, 1963.
- Магакьян И. Г. Генетические типы зарубежных месторождений урана. Зап. Всесоюз. минер. об-ва, ч. 84, вып. 3, 1955.
- Маккелви В. Е., Эверхард Д. Л., Гареллс Р. М. Обзор гипотез о генезисе урановых месторождений. В кн. Проблемы рудных месторождений. М., ИЛ, 1958.
- Масайтис В. Л., Старицкий Ю. Г. Об особом типе структур Восточной Азии. Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., т. 85, 1963.
- Масайтис В. Л., Старицкий Ю. Г. Структуры дива Восточной Азии. В кн. Строение и развитие земной коры. М., «Наука», 1964.
- Материалы о содержании и распределении радиоактивных элементов в горных породах. Тр. ВСЕГЕИ, т. 95, 1963.
- Мелков В. Г., Пухальский Л. Г. Поиски месторождений урана. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Мельников И. В. Некоторые минералого-геохимические особенности процесса формирования месторождений урановой смолки среднего структурного этажа. В кн. Геология гидротермальных урановых месторождений. М., «Наука», 1966.
- Методические указания к крупномасштабному специализированному геологическому картированию и составлению карт прогноза в ураноносных и перспективных по урану районах. Под ред. А. И. Семенова. Л., 1964.
- Минеева И. Г. О подвижной форме урана и тория в щелочных породах и связанных с ними постмагматических образованиях. Геохимия, № 4, 1965.
- Набоко С. И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Наумов Г. Б. Синтез и разложение настурана в карбонатной среде. В кн. Тр. IV совещания по эксперимен. и техн. минералогии и петрографии. М., 1962.
- Наумов Г. Б., Коченов А. В., Герасимовский В. И., Германов А. И. Уран в осадочных породах. В кн. Основные черты геохимии урана. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Некрасова З. А. К вопросу о генезисе уранового оруденения в углях. В сб. Вопросы геологии урана. М., Атомиздат, 1967.
- Новиков Г. Ф., Капков Ю. Н. Радиоактивные методы разведки. Л., «Недра», 1965.
- Основные положения организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 (1:25 000). Колл. авторов. М., «Недра», 1968.
- Основные черты геохимии урана. Под ред. Виноградова А. П. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., «Высшая школа», 1966.
- Принципы и методика составления металлогенических и прогнозных карт. Колл. авторов. Под ред. Шаталова Е. Т. М., «Недра», 1966.
- Рабинович А. В. О методике минералого-геохимических исследований интрузивных пород. В кн. Тр. Всесоюзного совещания работников минералого-петрографических лабораторий МГ и ОН СССР. М., 1955.
- Разумовский Н. К. К вопросу о выделении аномалий на фоне обычных содержаний элементов в породе при поисковых работах. Вопросы разведочной геофизики, вып. 1, 1962.
- Рафальский Р. П. Физико-химические исследования условий образования урановых руд. М., Атомиздат, 1963.
- Риттман А. Вулканы и их деятельность. М., «Мир», 1946.
- Роднонов Д. А. Функции распределения содержаний элементов и минералов в изверженных породах. М., «Наука», 1964.
- Рудник В. А. Взаимосвязь процессов гранитизации и базификации и их роль в формировании земной коры континентального типа. Материалы к совещанию «Общие закономерности геологических явлений». Л., 1965.
- Рундквист Д. В. О факторе времени при формировании метасоматических пород, жил, прожилков грейзеновых месторождений. Зап. Всесоюз. минер. об-ва, ч. 94, вып. 1, 1965.

- Сазыкин Н. С. Сырьевые ресурсы урановой промышленности капиталистических стран и их использование. М., «Недра», 1968.
- Сауков А. А. Эволюция факторов миграции элементов в геологической истории. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1961.
- Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., МГУ, 1963.
- Сауков А. А. Геохимия. М., «Наука», 1966.
- Сафронов Н. И. Основы геохимических поисков рудных месторождений. Л., ВИТР, 1962.
- Семенов А. И. Некоторые вопросы металлогении урана. В кн. Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 2, М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Семенов А. И., Старицкий Ю. Г., Шаталов Е. Т. Главные типы металлогенических провинций и структурно-металлогенических (металлогенических) зон на территории СССР. В кн. Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 8, М., «Наука», 1966.
- Семенов А. И., Смыслов А. А. Геохимические критерии связи промышленного оруденения с горными породами и проблема источников оруденения. Зап. Всесоюзн. минер. о-ва, 2 сер., ч. 96, вып. 5, 1967.
- Смирнов В. И. Металлогения геосинклиналей. В кн. Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 5, М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Смирнов В. И. Металлогения урана. В сб. Вопросы прикладной радиогеологии. М., Атомиздат, 1963.
- Смирнов С. С. Рецензия на статью П. Ниггли. Избр. тр., М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Соколов М. М. и др. О раздельном определении урана, тория и калия в естественном залегании с помощью гамма-спектрометра. Вопросы рудной геофизики, вып. 4, 1964.
- Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата. Изд-во АН КазССР, 1959.
- Судовиков Н. Г. К вопросу о возможной связи гидротермального оруденения с гранитизацией. В кн. Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. Тр. I Всесоюз. петрографического совещания, М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Судовиков Н. Г. Условия эндогенного рудообразования в докембрии. Уч. зап. ЛГУ № 312, сер. геол. наук, вып. 13, 1962.
- Судовиков Н. Г. Региональный метаморфизм и некоторые проблемы петрологии. Л., Изд-во ЛГУ, 1964а.
- Судовиков Н. Г. Тектонические движения и региональный метаморфизм. В кн. Вопросы магматизма и метаморфизма. Т. 2, Л., Изд-во ЛГУ, 1964б.
- Судовиков Н. Г. Метаморфогенное рудообразование. Сов. геология, № 1, 1965.
- Суражский Д. Я. Генетические типы промышленных месторождений урана. Атомная энергия, № 2, 1956.
- Суражский Д. Я. Методы поисков и разведки месторождений урана. М., Атомиздат, 1960.
- Старик И. Е., Крылов А. Я. О радиоактивном равновесии в гранитах Центрального Тянь-Шаня. М., ДАН СССР, т. 132, № 1, 1960.
- Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. Под ред. В. М. Крейтера, М., «Недра», 1968.
- Тугаринов А. И., Войткевич Г. В. Докембрийская геохронология материков. М., «Недра», 1966.
- Уайт Д. Е. Термальные воды вулканического происхождения. Сб. Геохимия современных поствулканических процессов. М., «Недра», 1965.
- Усов М. А. Фации и фазы пород эффузивного облика. Проблемы сов. геологии, т. 5, № 9, 1955.
- Устиев Е. К. Геологические и петрологические аспекты проблемы вулканоплутонических формаций. В кн. Материалы симпозиума по вулканоплутоническим формациям и их рудоносности. Алма-Ата, «Наука», 1966.
- Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. М., Изд-во АН СССР, 1939.
- Ферсман А. Е. Избранные труды, т. 1—7, М., Изд-во АН СССР, 1952—1960.
- Ханн В. Е. Возрожденные (эпи платформенные) орогенетические пояса и их тектоническая природа. Сов. геология, № 7, 1965.
- Хейрих Э. У. Минералогия и геология радиоактивного минерального сырья. М., ИЛ, 1962.
- Херасков Н. П. Тектоника и формации. М., «Наука», 1967.
- Хитев П. П., Федорова А. А. Полевой гамма-спектрометр для количественных определений урана (по радио), тория и калия. Вопросы рудной геофизики, вып. 6, 1965.
- Хокс Х. Е., Уэбб Дж. С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М., «Мир», 1964.

- Холодов В. И., Лисицин А. К., Комарова Г. В., Кондратьева И. А. Об эпигенетической зональности уранового оруденения в нефтеносных карбонатных породах. Изв. АН СССР, сер. геол., № 11, 1961.
- Чайкин П. И., Гумбар К. К. Эманационное определение изотопов радия в присутствии железа, кальция и других элементов. Информ. сб. ВСЕГЕИ, № 4, 1956.
- Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. М., «Недра», 1965.
- Шагалов Е. Т. Основные научные принципы и методика составления средне- и крупномасштабных металлогенических и прогнозных карт. В кн. Закономерности размещения полезных ископаемых Т. 8. М., «Наука», 1966.
- Шеглов А. Д. Основные черты металлогении зон автономной активизации. Там же.
- Шеглов А. Д. Металлогения областей автономной активизации. Л., «Недра», 1968.
- Щербина В. В. Формы переноса химических элементов в процессах минералообразования и условия их концентрации. В сб. Вопросы геохимии и минералогии. М., Изд-во АН СССР, 1956.
- Щербина В. В. Геохимия урана в зоне окисления. Сб. Основные черты геохимии урана. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Щербина В. В., Абакиров Ш. О формах переноса тория в гидротермальных растворах. Геохимия, № 2, 1967.
- Шукин С. И. К вопросу о поведении радиоактивных элементов в вулканическом процессе. Тр. ВСЕГЕИ, т. 142, 1967.
- Якжин А. А. Поиски и разведка урановых месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Bain G. W. Geology of the fissionable materials. Econ. geol., vol. 45, N 4, 1950.
- Cox D. P. Regional Environment of the Sacobina Auriferous Conglomerate, Brazil. Econ. Geol., vol. 62, N 6, 1967.
- Derry D. R. Evidence of the origin of the Blind River uranium deposits. Econ. Geol., vol. 55, N 5, 1960.
- Everhart D. Origin of uranium deposits. Min. Eng., vol. 6, N 9, 1954.
- Gross W. H. Radioactivity as a guide to ore. Econ. Geol., 47, N 7, 1952.
- Kerr P., Robinson R. Uranium mineralisation in the Sunshine Mine. Idaho — Mining Eng. 5, N 5, 1953.
- Matti Tyini. Paykkajanvaaran uranikaivosen geologia. Geologi, N 1, 1962.
- Perio P. Consideration sur les exides d'uranium  $UO_2$  et  $U_3O_8$ . Bull. Soc. Chim. France, N 3, 1953.
- Pienaar P. S. Stratigraphy, petrology and genesis of the Elliot group, Blind River, Ontario, including the uraniferous conglomerate. Geol. Surv. of Canada, bull. 83, 1963.
- Rankama R., Sahama T. Geochemistry. Chicago, 1950.
- Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. Bull. of the geol. soc. of America, vol. 72, N 2, 1961.
- Uranium Deposits in Finland. The Min. Mag., vol. 103, N 4, 1960.
- Waber J. T., Kromer D. T. Orbital radius of Atoms and Ions. J. Chem. Phys., vol. 42, N 12.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Общие принципы и задачи крупномасштабного специализированного геологического картирования в ураноносных и перспективных по урану районах. <i>И. С. Ожинский, Г. Н. Шапошников</i> . . . . .	5

### Часть I

#### Геологические условия проявления уранового оруденения

Принципы классификации урановых месторождений. <u>А. И. Семенов</u> , <i>Г. Н. Шапошников, Г. В. Грушевой</i> . . . . .	13
Условия проявления эндогенного оруденения. <u>А. И. Семенов</u> , <i>Г. Н. Шапошников, Г. В. Грушевой</i> . . . . .	28
Условия проявления экзогенного оруденения <u>А. И. Семенов</u> , <i>Г. Н. Шапошников, Г. В. Грушевой</i> . . . . .	35

### Часть II

#### Характеристика промышленных типов уранового оруденения и вопросы методики крупномасштабного специализированного геологического картирования и прогнозирования ураноносных районов

##### Эндогенные месторождения

Урановое оруденение щитов в зонах регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. <i>А. П. Никольский, В. П. Наумов</i> . . . . .	53
Урановое оруденение в складчатых областях фанерозоя (в районах интенсивного проявления позднеорогенного вулканизма) . . . . .	64
Гидротермальные средне- и низкотемпературные близповерхностные урановые месторождения в пространственной и парагенетической связи с трахиандезитовыми и андезитово-диоритовыми вулканогенно-интрузивными формациями. <u>А. И. Семенов</u> , <i>В. Д. Малов</i> . . . . .	64
Гидротермальные средне- и низкотемпературные близповерхностные урановые месторождения в пространственной и парагенетической связи с девонскими андезитово-липаритовой, липаритовой и липарито-гранитовой формациями. <i>К. И. Дворцова</i> . . . . .	73
Урановое оруденение в областях тектоно-магматической активизации . . . . .	82

Гидротермальные урановые месторождения областей мезозойской тектоно-магматической активизации щитов древних платформ. <i>Т. В. Билибина, В. М. Терентьев</i>	—
Гидротермальные средне-низкотемпературные близповерхностные месторождения урана в зонах тектоно-магматической активизации молодых платформ. <i>Г. В. Афанасьев</i>	87
Гидротермальное урановое оруденение в зонах тектоно-магматической активизации складчатых областей фанерозоя	97
Гидротермальные низкотемпературные близповерхностные месторождения урана в зонах активизации ниже-среднепалеозойской складчатой области. <i>Г. Н. Шапошников, В. Е. Кудрявцев, Ю. А. Мамин, А. Г. Кашенова, Г. Б. Кочкин, Ю. В. Ильинский</i>	—
Гидротермальные средне-низкотемпературные близповерхностные месторождения урана в зонах тектоно-магматической активизации древних срединных массивов и их складчатого обрамления. <i>Г. В. Афанасьев</i>	105
Гидротермальные низкотемпературные близповерхностные урановые месторождения, связанные с субщелочными базальто-андезито-липаритовой и андезито-базальтовой формациями. <i>Г. Л. Падалка, А. О. Розенцвит, П. А. Страна, Г. А. Шатков, Г. В. Александров, С. В. Александрова</i>	115
Низкотемпературные близповерхностные урановые месторождения сложного генезиса в вулканогенно-осадочных породах наложенных впадин стадии активизации. <i>Г. Л. Падалка, А. О. Розенцвит</i>	123

### Экзогенные месторождения

Урановое оруденение древних платформ	129
Урановые (золото-урановые, торий-урановые) осадочно-метаморфогенные (осадочно-метаморфизованные) месторождения в конгломератах докембрия. <i>И. С. Ожинский</i>	—
Урановое оруденение складчатых областей	135
Урановое оруденение в углеродисто-кремнистой геосинклинальной формации. <i>Б. Б. Голубев, А. Г. Шендерова</i>	—
Экзодиагенетические селено-урановые месторождения и другие типы уранового оруденения в пестроцветных терригенных отложениях позднеорогенных структур. <i>В. Е. Кудрявцев</i>	142
Урановое оруденение молодых платформ	149
Осадочные сорбобиогенные фосфорно-урановые месторождения. <i>Г. И. Семенов, В. М. Шалахов, В. М. Пац</i>	—
Урановые месторождения осадочно-диагенетического и инфильтрационного генезиса в угленосных отложениях. <i>Н. В. Шабаров, А. И. Иванова</i>	158
Урановое оруденение областей и зон тектонической активизации	166
Эпигенетические битумно-урановые месторождения в красноцветных терригенных отложениях. <i>Е. И. Антипычева, И. А. Панов</i>	—
Инфильтрационные урановые месторождения в сероцветных терригенных отложениях. <i>Г. В. Грушевой, Е. М. Шмарович</i>	176
Экзодиагенетические месторождения урана в аллювиальных отложениях речных долин. <i>В. М. Сергиевский</i>	189

### Часть III

#### Применение некоторых геологических, общих геофизических и геохимических методов при крупномасштабном специализированном геологическом картировании ураноносных районов

Принципы и методы геологического картирования в районах развития позднеорогенных вулканогенных формаций. <i>К. И. Дворцова, А. В. Булычев, В. Д. Алексеев</i>	199
Методика комплексных геолого-геофизических работ при крупномасштабном специализированном картировании закрытых площадей. <i>Д. А. Горелов, А. Н. Еремеев, А. С. Клочков, М. Е. Коцен, А. А. Шугин</i>	218

Геохимические методы исследований при крупномасштабном специализированном геологическом картировании. <i>А. А. Смыслов</i> . . . . .	241
Использование закономерностей образования региональных зон гидротермально-метасоматических изменений при крупномасштабных прогнозно-металлогенических исследованиях. <i>Е. В. Плющев</i> . . . . .	282
О закономерностях проявления уранового оруденения и особенностях специализации геологических исследований в ураноносных и перспективных по урану районах, <i>И. С. Ожинский, Г. Н. Шапошников, Г. В. Грушевой</i> . . . . .	293
Литература . . . . .	303

Опечатки

1  
ого

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
34	22 снизу	райнов	районов
44	8 снизу	отложения	отложениями
108	23 снизу	амфиболиты	амфиболитами
129	2 снизу	среднего	срединного
160	25 сверху	боразом	образом
181	Подпись к рис. 10	(см. рис. 13)	(см. рис. 9)
228	На рис. 316	{ 262 251 256 273 244	2,62
			2,51
			2,56
			2,73
			2,44
231	Табл. 7, графа 3, 1 и 4 сверху	1	I
257	6 и 7 снизу	магматической дифференциации регионального метаморфизма	магматической дифференциации и регионального метаморфизма
270	26 сверху	определения	определена
279	9 снизу	Th, P, Zr, Sr, Th	Th, P, Zr, Sr
296	5 снизу	терригенно-хромогенным	терригенно-хемогенным
301	19 снизу	наличием типов концентраций	наличием других типов концентраций