
МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

В. Г. Мелков

В настоящее время известны три типа практически интересных урановых месторождений: постмагматические (в основном гидротермальные), осадочные и осадочно-метаморфические. Закономерности их образования и размещения еще недостаточно изучены, однако на основании имеющихся материалов наиболее характерные черты районов, перспективных для поисков месторождений того или иного типа, и характерные черты строения месторождений уже определяются. Это позволяет осуществлять организацию поисков урановых месторождений на основе геологического районирования страны и существенно облегчает непосредственное отыскание месторождений в пределах перспективных районов.

1. Геологическое районирование

Целью геологического районирования является не только выделение перспективных районов, но и установление степени их перспективности для определения очередности проведения поисковых работ. Общие принципы, методы и способы такого районирования общеизвестны. На основе изучения геологического строения страны, анализа истории ее геологического развития и выявления главных этапов истории геологического развития отдельных областей выделяются области, сходные по геологическому строению и истории формирования (тектогенез, магматизм, осадконакопление, палеогеография и т. д. и т. п.). После этого определяются области, в отдельные этапы истории геологиче-

ского развития которых имелось сочетание условий, благоприятных для образования того или иного типа месторождений тех или иных полезных ископаемых.

При районировании применительно к поискам урановых месторождений удобно выделять провинции, перспективные нахождение в них месторождений постмагматического типа, и древние бассейны, перспективные на нахождение в них месторождений осадочного и осадочно-метаморфогенного типов.

При выделении перспективных провинций следует учитывать, что постмагматические месторождения и рудопроявления урана обнаружены в областях, сложенных складчатыми комплексами протерозойского, каледонского, варисского и ларамийского возрастов, а также в областях значительных орогенических движений альпийского возраста. Кроме того, следует учитывать также, что гидротермальные месторождения урана обычно возникают в эпохи или такие этапы развития участков земной коры, которые характеризуются:

а) формированием крупных расколов, сопровождающихся различными и неоднократно обновляющимися системами многочисленных тектонических трещин более низких порядков;

б) развитием малых гипабиссальных и приповерхностных интрузий, а также наземных излияний гранитоидной магмы, обычно представляющих собой последовательные дифференциаты единого магматического очага;

в) проявлением многочисленных даек, в особенности даек диабазовых порфириров.

При выделении перспективных участков древних бассейнов следует иметь в виду, что месторождения и рудопроявления урана осадочного или осадочно-метаморфогенного типа обнаружены уже в толщах протерозойского, палеозойского (особенно ордовикского, каменноугольного и пермского), мезозойского (триасового, юрского и мелового) и кайнозойского (особенно палеогенового) возрастов. Кроме того, следует учитывать возможность нахождения урановых руд осадочного типа:

а) в континентальных (лагунных, лагунно-озерных и др.) фациях, представленных глинами и песчаниками;

б) в прибрежно-морских мелководных, трансгрессивных фациях, представленных песчаниками, органогеновыми известняками, фосфоритами, глинами, обогащенными органическими веществами и часто фосфором, нередко ванадием, серой, фтором, железом, молибденом, барием, стронцием, редкими землями, реже никелем, кобальтом, цинком, свинцом, хромом, цирконием, гафнием, скандием.

Эти фации оказываются ураноносными в том случае, когда образуются около суши с пенецилизированной или абрадированной поверхностью в условиях климата, благоприятствующего значительному преобладанию химического выветривания горных пород суши над физическим.

Отмеченные геологические условия нахождения осадочных руд урана вполне согласуются с его физико-химическими свойствами. Шестивалентный уран хорошо растворим в кислых и нейтральных природных водах в виде иона уранила $(\text{UO}_2)^{2+}$, а в щелочных — в виде уранил-карбонатного комплекса. Из вод первого типа непосредственно, а из вод второго типа, по видимому, после разрушения комплекса (при временном понижении pH) уранил прекрасно извлекается различными сорбентами (органические, углестые и др. вещества) и, возможно, фосфатами. Из щелочных вод уран, кроме того, выпадает в четырехвалентном состоянии под влиянием восстановительных по отношению к шестивалентному урану процессов $(\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}; \text{OH}^{1-} + \text{HS}^{1-} \rightarrow \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O}$ и др.). Под влиянием этих же процессов и в тех же условиях извлеченный из растворов шестивалентный

уран переходит в четырехвалентное состояние.

При оценке перспективности провинций и бассейнов учитывается не только сочетание условий, благоприятных для образования промышленных месторождений, но также и последующие процессы, приводящие к их изменению или уничтожению. В первую очередь оцениваются возможные размеры эрозии пород, слагающих провинции, и фациально-благоприятных отложений бассейнов. Более перспективными считаются провинции, подвергшиеся слабой эрозии, не уничтожившей ураноносных образований. Для осадочных толщ, кроме того, учитываются характер складкообразования и степень метаморфизма. Эти процессы влекут за собой: а) изменения залегания продуктивных горизонтов, б) легко совершающиеся в указанных условиях перегруппировку и перераспределение урана, в) существенные изменения вмещающих оруденение пород (перекристаллизация, рассланцевание и т. п.) и их свойств.

2. Геологические основы методов поисков

Поиски промышленных месторождений на площадях перспективных рудных провинций и бассейнов осуществляются путем ряда последовательных этапов, отличающихся масштабом проводимых работ, особенностями методики и спецификой техники.

Основная особенность поисков урановых месторождений заключается в широком применении на всех этапах разнообразных радиометрических методов. Эти методы основываются на использовании радиоактивности урана — свойства урана самопроизвольно распадаться, последовательно превращаться в целый ряд других радиоактивных элементов, испуская при этом заряженные α - и β -частицы и излучая так называемые γ -лучи. В некоторых случаях дополнительно используется и другое характерное свойство урана — способность ряда его ураниловых соединений люминесцировать в невидимых ультрафиолетовых лучах.

На новой площади больших размеров поисковые работы обычно начинаются с аэро-радиометрических, наземных авторадиметрических и радиогидрогеологических поисков, позволяющих в наиболее короткий срок отыскать участки так называемых ра-

диоактивных аномалий, т. е. участки, характеризующиеся повышенными (по сравнению с окружающей их территорией) значениями величин γ -излучения и величин концентрации радиоактивных элементов в подземных водах.

Такое направление поисковых работ основывается на использовании способности урана и его дочерних радиоактивных элементов (ионий, радий, радон) образовывать около верхних окисляющихся частей месторождений и рудопоявлений так называемые солевые ореолы рассеяния, обладающие повышенным γ -излучением. В районах с преобладающим химическим выветриванием эти ореолы распространяются на значительной площади. В поисковых работах используется также способность всех упомянутых элементов выноситься подземными водами сравнительно далеко за пределы месторождения или рудопоявления.

В районах с преобладанием физического выветривания, а также в случае окварцованных первичных руд урана, тем же целям служит способность этих руд образовывать довольно протяженные механические ореолы рассеяния (аллювиальные и элювиальные россыпи, преимущественно настурана и уранинита, свалы руд с этими же минералами).

На выявленных участках радиоактивных аномалий, а также на прилегающих к ним площадях проводятся детальные поисковые и поисково-оценочные работы. При этих работах важное значение приобретает изучение и учет геологических, геоморфологических, гидрогеологических, геохимических и других особенностей района выявленной аномалии.

На площадях, прилегающих к участкам выявленных аномалий, детальные поисковые работы необходимы потому, что аномалии могут быть несколько смещены относительно местоположения коренных руд, а также потому, что не все рудоносные участки провинции или месторождения характеризуются заметно повышенной радиоактивностью с поверхности. Это свойственно, например, участкам со слесыми рудными телами, участкам, закрытым наносами, и т. д.

Для эффективного проведения детальных поисков и оценки промышленных перспектив участков радиоактивных аномалий и прилегающих к ним площадей, большое значение

имеют знание и учет установленных опытом общих геологических закономерностей распределения уранового оруденения, характерных особенностей известных типов урановых месторождений, поведения урана в коре выветривания и т. п.

Эти закономерности применительно к месторождениям постмагматического типа кратко сводятся к следующему*):

1. Постмагматические месторождения урана образуются преимущественно в связи с самыми поздними членами магматической дифференциации гранитоидной магмы, сильно обогащенными кремнием и летучими компонентами, несколько менее — щелочами и значительно обедненными магнием, железом и кальцием.

2. Урановые руды предпочтительно находятся не в крупных, протяженных (региональных) разломах, а в сопряженных с ними разрывных (пологих и крутых) тектонических трещинах. В этих трещинах они приурочиваются к местам их разветвлений, изгибов, пересечений с дайками изверженных горных пород, жилами (кварцевые и др.) или неминерализованными трещинами (системами трещин), а также, повидимому, к местам их пересечений с некоторыми обычно относительно обогащенными закисным железом «пачками» вмещающих пород. Отложение урановых руд возможно и в участках, расположенных около мест разветвления протяженных разломов. Повидимому, характерной особенностью трещин, в которых образуются руды урана, является их неоднократное обновление.

3. Уран имеет тенденцию образовывать более крупные скопления руд в тектонических трещинах, расположенных преимущественно в «жестких горных породах»: различные метаморфические породы (сланцы, гнейсы, кварциты, роговики и др.), граниты, гранодиориты, кислые эффузивы и пр. Наиболее благоприятными являются толщи метаморфических или сильно метаморфизованных горных пород, а среди них — обогащенные различными минералами двухвалентного железа, например такими, как железосодержащие разновидности хлоритов и амфиболов, магнетит и др.

*) Редкие пока месторождения, рудным минералом в которых является давидит (титанат железа с содержанием до 7% урана), здесь не рассматриваются.

В интрузивных массивах, в толщах эффузивов и вулканогенных пород более крупные скопления урановых руд образуются предпочтительно в гидротермально измененных зонах аргиллизации, хлоритизации и, повидимому, оталькования и пиррофиллитизации, а также в зальбандовых частях даек изверженных горных пород основного состава (типа диабазовых порфиров).

В толщах нормальных осадочных горных пород, не подвергавшихся региональному метаморфизму или испытавших его в очень слабой степени, постмагматических месторождений урана еще не установлено, за исключением иногда тех частей этих толщ, которые примыкают к «жестким породам».

4. Процесс минералообразования при формировании урановых месторождений не бывает одноактным, а протекает пульсационно в несколько стадий и этапов. Известны месторождения, формирование которых начиналось с пневматолитовой и кончалось поздней гидротермальной стадией и протекало в шесть и более этапов, разделенных проявлениями новых дизъюнктивных нарушений и обновлениями уже существовавших. Известны также месторождения, начальные стадии формирования которых выражались в ярко проявленном метасоматозе (альбитизация и т. п.) и образовании пор и каверн.

Образование урановых руд обычно бывает связано с одним из наиболее поздних этапов. Характерным для этого (уранового) этапа является самостоятельность его проявления не только во времени, но нередко и в пространстве. Последний случай наиболее благоприятен при прочих равных условиях для возникновения более крупных месторождений. Характерным для уранового этапа является также сравнительно небольшое количество сопутствующих урану химических элементов. Главными и постоянными химическими элементами, помимо урана, являются кислород, кремний, железо. Непостоянно, но в больших количествах, встречаются углерод, кальций, фтор, реже и в меньших количествах — магний, алюминий, сера, редкие земли, еще реже и совсем в небольших количествах наблюдаются мышьяк, свинец, цинк, медь.

В различных условиях перечисленные основные химические элементы образуют различные ассоциации главных минералов, на-

пример: настуран + кремнезем (метаколлоид); настуран—кварц—гематит; настуран—кварц—кальцит или доломит; настуран—хлорит (типа тюрингита и дафнита), иногда с кварцем; настуран—флюорит—кальцит и некоторые другие. Кроме этих главных минералов, в соответствующих случаях возникают небольшие количества еще таких минералов, как пирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, энаргит и др. Редкие земли, а иногда свинец, алюминий, кремний и некоторые другие химические элементы, самостоятельных минералов не образуют и входят в состав метаколлоидной системы настурана.

В случае пространственного совмещения или наложения уранового этапа процесса минералообразования на минеральные тела, сформировавшиеся в течение одного или нескольких предыдущих этапов, возникают участки жил или жилые поля, характеризующиеся комплексным, полиминеральным составом урановых руд и сопровождаемые значительными околожилными изменениями различного характера. Можно привести такие примеры полиминеральных типов урановых руд, опуская перечисление упомянутых выше минералов уранового этапа и не упоминая минерального состава вмещающих руды горных пород: урановые руды — со значительным количеством сульфидов железа, цинка, свинца; с сульфидами и сульфосолями меди, висмута и баритом; с сульфидами меди, железа, молибдена; с вольфрамитом, сульфидами железа, меди, свинца, цинка, сульфосолями висмута и баритом; со щелочными (натровыми) силикатами и алюмосиликатами, магнетитом, гематитом; с самородными серебром, мышьяком, висмутом, арсенидами и диарсенидами кобальта и никеля, сульфидами железа и меди; с сульфидами железа, гидроалюмосиликатами (гидрослюда + монтмориллонит и др.), флюоритом и т. п.

Разнообразие минерального состава урановых месторождений, повидимому, находится в какой-то взаимозависимости от их масштабов и богатства руд. Намечается следующая тенденция: наиболее крупные месторождения богатых руд обычно содержат очень мало или почти не содержат сульфидов. Месторождения урана со значительными массами сульфидов, как правило, характеризуются более умеренными масштабами и более бедными по содержанию рудами.

5. Урановый этап минералообразования почти не сопровождается изменением вмещающих пород. Определенно можно указать лишь на гематитизацию (покраснение) и хлоритизацию (позеленение). Наиболее близкое отношение к этому этапу имеют карбонатизация (доломит и др.), окварцевание (яшмовидный роговикоподобный кварц), аргиллизация (часто смесь различных количеств гидрослюда, монтмориллонита, галлуазита, каолинита), флюоритизация.

6. В развивающихся зонах окисления месторождений поведение урана и его дочерних радиоактивных элементов (ионий, радий, радон) заметно различается в зависимости от минерального состава первичных руд и находится в полном соответствии с его химическими свойствами, упомянутыми выше. В старых («проработанных») зонах окисления при геологически продолжительном постоянстве положения базиса эрозии указанные различия постепенно стираются. Это объясняется общей тенденцией соединения шестивалентного урана (которые во всех случаях образуются в зоне окисления за счет настурана и урановых черней) переходить в раствор и таким образом уходить за пределы месторождения.

В зонах окисления существенно сульфидных руд уран более подвижен, чем в зонах окисления малосульфидных и бессульфидных урановых руд. При достаточно молодом возрасте зон окисления и понижающемся базисе эрозии наблюдаются следующие различия.

В сульфидных месторождениях весь уран настурана переходит в раствор. Это благоприятствует образованию хорошо выраженной вторичной вертикальной зональности в распределении гипергенных минералов урана, характеризующейся рядом особенностей (снизу вверх).

В зоне цементации наблюдаются регенерированные урановые черни. В подзоне активного окисления (подзона современного окисления зоны цементации) за счет окисления и растворения настурана возникают остаточные урановые черни и растворы U^{6+} . Еще выше по вертикальному разрезу зоны окисления отмечается подзона, совершенно лишенная урановых минералов, а над ней — подзона урановых слюдок, как правило, фосфорно-кальциевых. В этой подзоне при наличии в первичных рудах сульфидов меди и арсенидов образуются также мышьяковые

и медные урановые слюдки. В этом случае в нижней части подзоны располагаются мышьяковые и медные слюдки (пейнерит, торбернит, ураноспинит), а выше фосфорно-кальциевые (отенит). У самой дневной поверхности наблюдаются силикаты урана (уранофан) и минералы с примесью урана (урансодержащие гялит и кальцит). Урансодержащие лимониты встречаются по всей зоне окисления.

В малосульфидных и бессульфидных месторождениях в зоне окисления по натуре образуются разнообразные гидроокислы и силикаты урана, причем, как правило, в виде псевдоморфоз тонко- или скрытокристаллического строения (образования типа «гуммитов»). Очень слабое развитие при этом получают различные урановые черни и урановые слюдки. Количество последних увеличивается к верхним частям зоны окисления.

Таким образом, и в этом случае наблюдается вертикальная зональность в распределении вторичных урановых минералов, но менее четкая и менее дифференцированная.

Применительно к месторождениям осадочного типа при детальных поисках и оценке аномалийных участков и прилегающих к ним площадей учитываются следующие закономерности:

1. Более высокие содержания урана в морских осадках наблюдаются в относительно неширокой (порядка сотен метров) полосе внутри значительно более широкой фациальной благоприятной зоны, характеризующейся меньшими содержаниями урана. Более обогащенная ураном полоса, если она возникает, прослеживается обычно вдоль береговой линии на сравнительно небольшом от нее расстоянии (от нескольких километров до нескольких десятков километров).

Аналогичная приуроченность повышенных концентраций урана к краевым частям наблюдается и в угольных бассейнах, несмотря на то, что накопление урана в углях, так же как, вероятно, и в ряде других каустобиолитов (асфальтиты и др.), обязано, по видимому, нередко эпигенетическим, а не сингенетическим процессам.

2. В нормальных осадочных горных породах уран обычно находится в закись-окисном состоянии и часто наблюдается в связи с органическими веществами (в основном, по видимому, с гуминовыми и гуминоподобными),

которые могут находиться в фосфатах (стяжения фосфоритов, фосфатного состава фоссилизированные скелеты и покровные части рыб и т. д.), карбонатах (раковины, оолиты кальцита и т. п.) и в рассеянном состоянии. В виде самостоятельных минералов (настуран, черни) уран встречается редко и в небольших количествах; такие минералы имеют выделения (нередко микроскопические) размеры выделений. Сопровождается уран обычно пиритом (до 30%), нередко небольшими количествами сфалерита, галенита, сульфидов ванадия, барита, молибденита (?) и др. Фтор, редкие земли, скандий и некоторые другие элементы находятся обычно в фосфатных компонентах пород. Не подвергшимся окислению осадочным породам, обогащенным ураном, бурая и красные окраски несвойственны. Они чаще имеют серо-зеленые и серые цвета.

3. По мере увеличения степени метаморфизма пород и перекристаллизованности известняков связь органических веществ с ураном нарушается. Первые превращаются в твердые высококарбонизированные соединения типа антраксолитов, а уран наблюдается в виде настурана и других минералов, характеризующихся эпигенетическим расположением в пределах рудного пласта.

4. В зоне окисления бедных ураном осадочных месторождений вторичных урановых минералов почти не образуется, за исключением урансодержащих лимонитов и отдельных редчайших чешуек отенита и торбернита. В зоне окисления более богатых ураном осадочных месторождений обычно образуются заметные количества фосфатов (щелочные и щелочноземельные слюдки) и сульфаткарбонатов (шрекингериты).

В ураноносных осадочных толщах, обогащенных ванадием, образуются вторичные ванадаты (тюямунит, карнотит). Во всех случаях вторичные урановые минералы сопровождаются лимонитами, гипсом, сульфатами и фосфатами железа, магния, алюминия и т. д.

3. Методики поисков

Аэрорадиометрическая съемка. Наиболее быстрым, и потому применяющимся в первую очередь способом отыскания аномалийных участков является аэрорадиометрическая съемка.

Эта съемка осуществляется с помощью самолетов и вертолетов, оборудованных высо-

кочувствительной, малоинерционной, самозаписывающей радиометрической аппаратурой (радиометры, сцинтилляметры), регистрирующей не только суммарную γ -активность поля, но и ее спектральный состав. Самолеты и вертолеты оборудуются также приборами, автоматически регистрирующими высоту полета, и приборами для производства аэрофотосъемки.

Аэрорадиометрические поиски наиболее эффективны в том случае, когда они носят площадный характер, строятся на глубоком анализе геологического строения исследуемой площади, учете геологических особенностей урановых месторождений и руководством ими осуществляется геологами. Аэрорадиометрическая съемка в зависимости от ожидаемого типа месторождений, обнаженности, рельефа местности, степени сложности и изученности геологического строения и т. д. производится в различных масштабах отдельными равноотстоящими (в соответствии с заданным масштабом и высотой полета) параллельными маршрутами, прокладываемыми обычно вкрест простирания ожидаемых рудных структур и горизонтов*). Длина маршрутов принимается не более 30—40 км. Уменьшение высоты полета влечет учащение маршрутов.

В зависимости от применяемого метода, радиометрической и летной техники, а также в зависимости от рельефа обследуемой площади полеты производятся на высоте от 15—30 м до 100—150 м.

В результате аэрорадиометрической съемки на геологической основе составляется аэрорадиометрическая карта в изолиниях величин γ -активности.

Радиоактивные аномалии, обнаруживаемые с помощью аэрорадиометрии, выражаются величинами суммарной γ -активности, источниками которой могут быть не только участки с урановыми месторождениями и рудопроявлениями, но и участки с ториевыми месторождениями, участки и площади, сложенные кислыми интрузивными или эффузивными породами, и пр.

Выделение участков с нужной природой γ -активности производится с помощью аэрогамма-спектрометрии при одновременном учете размеров, формы, интенсивности и поло-

*) В очень расчлененных областях направление маршрутов приходится выбирать, согласуясь в основном с рельефом местности.

жения аэрогамма-аномалий относительно рельефа местности и основных элементов геологического строения.

Аэрогамма-аномалии, источником которых являются массивы изверженных горных пород, толщи эффузивов и др. пород, имеют размеры и форму, соответствующие обнажающимся площадям этих пород, и характеризуются сравнительно одинаковыми для всей площади величинами γ -излучения (площадные аномалии).

Аэрогамма-аномалии, источником которых являются месторождения и рудопоявления урана и тория, характеризуются обычно сравнительно резко выраженным повышением величины γ -излучения на локальных участках (локальные аномалии) и могут быть нередко отмечены даже на фоне площадной аномалии.

Авторадиометрическая съемка. Этот метод служит дополнением к аэторадиометрической съемке. Им пользуются там, где позволяет рельеф, для детализации установленных с самолета участков повышенного γ -излучения и частичного восполнения пробелов аэторадиометрической съемки. Кроме того, автомобильный метод применяется для крупномасштабных поисков в сравнительно небольших по площади перспективных районах.

Автомобильные поиски во многих случаях не удается построить по принципу площадной съемки, так как густота автомобильных маршрутов не может быть обусловлена только требуемым масштабом и зависит от проходимости автомашинами и от уже существующей густоты дорожной сети.

Для автомобильных поисков используются наиболее высокопроходимые модели современных автомобилей, оборудованные радиометрической аппаратурой, аналогичной устанавливаемой на самолетах.

Радиогидрогеологическая съемка. Основным преимуществом этого метода является возможность выявления перспективных участков, скрытых значительной мощностью наносами, поглощающими γ -излучение таких участков, а также в известной мере возможность выявления слепых рудных тел.

Сущность этого метода сводится к установлению в пробах воды, отобранных из всех естественных и искусственно вскрытых водопоявлений, а также в проточных водах содержания радиоэлементов, солевого состава, окислительно-восстановительного потенциала, радиоактивных и нерадиоактивных

газообразных продуктов «распада» и «развала» атомов урана и ряда других величин. Почти весь комплекс аналитического изучения проб воды производится непосредственно в полевых условиях при помощи специально разработанных для этих целей экспрессных методик. В результате радиогидрохимических исследований, сопровождающихся обычными гидрогеологическими наблюдениями, составляются на геологической основе необходимого масштаба соответствующие радиогидрохимические карты.

Другие методики. Площади, на которых выявляются аэторадиометрические и радиогидрохимические аномалии, подвергаются, как уже указывалось, детальному геологическому, литолого-фациальному и минералогическому изучению с применением различных поверхностных горных выработок, а также ряда специальных методик, основанных на использовании различных свойств урана и других радиоактивных элементов.

Среди этих методик можно отметить пешеходную и автомобильную γ -съемки, а также пешеходную β -съемку обнаженных участков, скоростную эманионную съемку участков, покрытых сравнительно мощными наносами, уранометрическую съемку, люминесцентно-минералогическую съемку, геоботаническую съемку и др.

Все виды перечисленных съемок достаточно просты. Об автомобильной γ -съемке сказано выше. Остальные виды съемок строятся по общему для съемок принципу. В соответствии с заданным масштабом, который выбирается с учетом геологических и геоморфологических особенностей района и ожидаемого типа месторождений, прокладывается сеть параллельных маршрутов, преимущественно вкрест простирания ожидаемых рудных жил или пластов. По линиям этих маршрутов производится непрерывные измерения γ -излучения и наблюдения явлений люминесценции или отбираются через равные расстояния (до 5 м) пробы пород, почв, почвенных газов, образцы растений, а также производятся соответствующие измерения β - и γ -излучений.

Почти все аналитические исследования, связанные с осуществлением указанных съемок, производятся непосредственно в полевых условиях. Результаты всех видов съемок изображаются в виде соответствующих профилей, карт и планов, составляемых на геологической основе.

Эманиационная съемка. При проведении эманиационной съемки, основанной на определении величин концентрации образующихся при радиоактивном распаде Ra и ThX (дочерние элементы урана и тория), газообразных радиоактивных элементов радона и торона, отбор проб почвенного воздуха производится обычно с глубины 0,8—1,0 м при помощи специальных буров-пробоотборников. В случае необходимости получения проб воздуха с больших глубин бурятся специальные скважины. Определение содержания радона и торона в пробе производится непосредственно на месте ее отбора и требует нескольких минут. Эманиационная съемка является одной из глубинных методик поисков.

Уранометрическая съемка. При проведении этой съемки, основанной на определении в наносах величин содержания урана, связанного с солевыми ореолами, отбор проб производится с различных глубин с помощью буров, а также в шурфах и канавах. Определение содержания урана в пробах делается с помощью люминесцентного анализа, основанного на способности урана, выплавленного во фтористый натрий, обуславливать при облучении сплава ультрафиолетовыми лучами его свечение. Яркость этого свечения при низких содержаниях урана в сплаве (до $1-5 \cdot 10^{-2} \%$) пропорциональна его концентрации.

Люминесцентно-минералогическая съемка. Эта съемка, основанная на способности ряда вторичных урановых и урансодержащих минералов (некоторые урановые слюдки и урансодержащие гяалит и кальцит) светиться под влиянием ультрафиолетовых лучей, производится при непрерывном облучении поверхности обнаженных участков. Такое облучение осуществляется в условиях естественной тем-

ноты и непрерывно по всей линии маршрута. Места проявления люминесцирующих урановых и урансодержащих минералов маркируются на местности, а затем изучаются при дневном освещении.

Геоботаническая съемка. Эта съемка осуществляется в двух вариантах:

а) путем анализа золы растений на радиоактивные (преимущественно уран) и другие химические элементы, которые по условиям концентрации для того или иного типа месторождений определенного района тесно связаны с залежами радиоактивных руд.

б) путем картирования отдельных видов растений, на произрастание которых или на отклонения в их химическом составе влияют химические элементы, встречающиеся только в залежах урана.

Оба варианта дают возможность обнаружить на глубине до 20—25 м слепые или скрытые под наносами залежи урана.

Перечисленный комплекс исследований позволяет в большинстве случаев установить место и природу аномалий радиоактивности.

После установления места с признаками выщелоченной или частично сохранившейся урановой минерализации оценка размеров и масштабов оруденения производится обычными методами. При этом учитываются особенности строения урановых месторождений и особенности их зон окисления, в частности обусловленные географическим и гипсометрическим положением месторождений, а также рельефом их поверхности. Кроме того, надо иметь в виду возможность значительных, но закономерных для различных подзон зоны гипергенеза сдвигов радиоактивного равновесия, что очень важно для правильного развития поисково-разведочных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Баранов, Радиометрия, Изд. АН СССР, 1955.
2. Исследования в области геологии, химии и металлургии (Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии). Изд. АН СССР, 1955:
- а) В. И. Баранов, Поиски месторождений урана и тория аэrorадиометрическими методами и интерпретация гамма-аномалий, стр. 11—20.
- б) А. И. Германов, А. А. Сауков, Поиски урановых месторождений радиогидрогеологическим методом, стр. 3—10.
3. Геология атомных сырьевых материалов (Доклады иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии), Госгеолтехиздат, 1956:
- а) Х. Л. Кэннон, Ф. Дж. Клейнхемпль, Ботанические методы, применяемые для поисков урана, стр. 461—472.
- б) Р. Кавака, Поиски урана в Португалии и ее африканских провинциях, стр. 284—296.
- в) П. Ф. Керр, Околорудные изменения боковых пород, как критерии при поисках месторождений урана, стр. 451—460.
- г) П. Ф. Керр, Месторождения урана и тория, стр. 119—219.