СЕКРЕТНО

МАТЕРИАЛЫ ПО ПОИСКАМ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

23 VI 47

ГОСГЕОЛИЗДАТ · 1947

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

СЕКРЕТНО

Экз. № 1

МАТЕРИАЛЫ ПО ПОИСКАМ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Под редакцией *И. Ф. Григорьева*,
Д. И. Щербакова и *Ю. Н. Копытко*

5463



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МИНИСТЕРСТВА ГЕОЛОГИИ СССР
МОСКВА 1947 ЛЕНИНГРАД



СОДЕРЖАНИЕ

Д. И. Щербаков. Методика поисков и предварительной оценки месторождений радиоактивных элементов 3

В. Г. Мелков. Минералого-геохимические основы поисков урана . . 23

С. А. Горжевская и В. Г. Круглова. Люминесцентно-минералогическая съемка 46

Я. Д. Готман. Поисковые признаки для некоторых типов урано-ванадиевых месторождений 51

В. В. Щербина. Критерии для поисков карнотитовых месторождений на основании экспериментальных данных 72

М. Д. Кравченко. Ионизация воздуха как поисковый критерий . . 81

Е. А. Салье. К вопросу методики поисков, разведки и опробования карнотитовых месторождений 104

Б. А. Петрушевский. Карнотитоносные неогеновые фации и методика их изучения 132

Отв. ред. *Д. И. Щербаков* **Техн. ред.** *А. Красновская*

Сдано в набор 30-IX-1946 г. **Подписано к печати** 26/II-1947 г. **Тираж** 300
Печ. л. $9^3/_4$ **Формат** $60\times92^1/_{16}$ **Зак.** № 889. **Бесплатно**

Типография Картфабрики Госгеолиздата

Д. И. Щербаков

МЕТОДИКА ПОИСКОВ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ОБЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Поисковые и оценочные критерии базируются на опыте поисково-разведочной работы и на ряде геологических дисциплин: минералогии, геохимии, учении о фациях, на отличительных чертах геологии месторождений радиоактивных элементов и т. д. Они учитывают специфические особенности радиоактивных элементов, широко используемые для постановки специальных приемов поисков, с привлечением радиометрии, люминесцентного анализа и микрохимии.

Применение поисковых и разведочных критериев на практике требует достаточно серьезной подготовки. Специалист, занимающийся поисками и разведками месторождений радиоактивных элементов, должен хорошо знать курс рудных месторождений, уметь свободно разбираться в минералогии урана и тория и владеть некоторым минимумом радиометрических приемов исследований. Без таких знаний он не сможет пользоваться сводными данными по методике поисков, так как нельзя думать, что может быть создано пособие, содержащее рецептуру поисков радиоактивных элементов. Если бы оно и было написано, то его применение, не опирающееся в достаточной мере на знакомство с разнообразными типами месторождений радиоактивных элементов, на понимание их генезиса, привело бы к формальному решению поставленных задач, оторванному от многообразных условий геологической обстановки, требующей значительной гибкости и умения геологически мыслить.

Но систематизировать опыт поисков и оценки, создать определенную направленность мысли, помогающую в последовательном проведении ряда приёмов поисков, вполне возможно.

Вместе с тем надо иметь в виду, что, как показала практика, нельзя сформулировать общие поисковые и оценочные критерии,

применимые одновременно ко всем типам месторождений радиоактивных элементов. Таких критериев быть не может в силу сложности возможных сочетаний природных условий. Поэтому необходимо их формулировать и разрабатывать применительно к каждому отдельному классу и даже к каждому отдельному типу месторождений.

Кроме того, всегда надо учитывать специфические особенности истории развития, геологического строения и металлогении той территории, на которой производятся поиски. Они налагают свой собственный отпечаток и предъявляют дополнительные требования, устанавливаемые обычно опытным путем.

В своей практической деятельности поисковики и разведчики будут иметь дело в основном с двумя типами работ: 1) с исследованиями территории, очень слабо изученной и геологически почти не освещенной, и 2) с проведением поисков на площади, обеспеченной геологической картой того или иного масштаба, с уже выявленными особенностями металлогении и с разведанными месторождениями или действующими горными предприятиями. Второй случай является наиболее обычным, и именно применительно к нему высказаны нижеследующие соображения. Однако и в первом случае необходимо заранее продумать направление работ, исходя из общих геологических соображений и возможных геологических аналогий.

Поиски на геологически не изученной территории

При выборе более перспективных площадей среди мало изученных территорий надо исходить из анализа мирового опыта. При крайне недостаточном знании ураноносных и ториеносных районов мира, тем не менее обращает на себя внимание факт приуроченности наиболее крупных месторождений урана и тория к древним «щитам» или «плитам».

Месторождения Большого Медвежьего озера и Верхней Катанги залегают в пределах древнейших участков суши. Монацитовые россыпи Бразилии и юго-западной Индии также находятся в области щитов.

Для месторождений урана обращает на себя внимание факт их приуроченности к таким частям древнейших структур, которые пересечены мощными зонами разломов. Эти зоны, к которым приурочены кислые магматические породы, являлись контролирующими структурами первого порядка, для рудоносных растворов, отлагавших различные металлы, в том числе и уран.

Таким образом, в первую очередь внимание исследователей должны привлекать области развития архейских и протерозойских формаций, в особенности там, где они прорезаны крупными сбросами и где известны обнажения пород гранитного типа.

На втором месте заслуживают внимания области древнепалеозойской складчатости (каледонские структуры) и, в особенности,

области позднепалеозойской складчатости (вариссике структуры). В металлогении каледонид уран отмечается только для южной Швеции, но зато варисские дуги известны в целом ряде провинций с проявлениями ураноносности — Рудные горы в Германии, Корнуэлл в Южной Англии, Гуарда в Португалии и др. В данном случае также надо изучать те участки геосинклинальных областей, для которых известны выходы гранитных интрузий, с сопровождающими их рудными образованиями.

Более молодые складчатые дуги, судя по данным мирового опыта, значительно менее перспективны.

Особняком стоят осадочные месторождения урана, прогнозировать которые чрезвычайно трудно. Их поиски связаны с ревизией континентальных и эпиконтинентальных отложений, с массовыми и систематическими радиометрическими промерами пород, содержащих различные углистые и битуминозные образования. Выбору районов поисков помогает представление о возможных областях питания и соображение о возможном присутствии там месторождений радиоактивных элементов. Их разрушение могло обусловить снос и затем вторичную концентрацию урана и тория в осадочных породах.

Поиски на геологически изученной территории

Иначе обстоит дело с организацией работ на территории геологически заснятой, с изученными полезными ископаемыми. В данном случае работы по выявлению месторождений радиоактивных элементов могут развиваться в определенной последовательности, сводящейся 1) к выбору района поисков (предварительная стадия), 2) к установлению вероятных типов месторождений, 3) к проведению поисков, с установкой на поиски определённых типов радиоактивных месторождений, 4) к предварительной разведке и прогнозной оценке найденных месторождений.

Каждый из указанных этапов работ опирается на определенный комплекс геологических представлений, на определенную последовательность операций и ему присущую методику.

Геологическое обоснование выбора района поисков

Полевой работе всегда должен предшествовать выбор района поисков; в основу такого выбора ложатся определенные геологические представления.

1. *О региональной зараженности территории.* Под этим термином понимаются не просто несколько повышенные кларки урана в горных породах района обследования, а частое нахождение его минералов — первичных и вторичных — в различной геологической обстановке. Кроме того, на данной территории должны встречаться повышенно радиоактивные природные образования — горные породы, минеральные скопления, активность которых в условных

урановых единицах должна выражаться цифрами не менее сотых процентов U_3O_8, а также радиоактивные источники.

Это утверждение носит совершенно категорический характер. Оно подтверждается всем мировым опытом. Например, регионально зараженными являются: район Рудных гор в Саксонии, район Большого Медвежьего озера на западной окраине Канадского щита, район Верхней Катанги в Центральной Африке, район Португальских отенитовых руд.

Вероятно, для любого химического элемента такая предпосылка правильна и обязательна. Однако в большинстве случаев поисковики и разведчики так привыкли к минералам распространенных, обычных элементов, что, когда эти минералы встречаются в виде небольших скоплений, на них не обращают внимания. По отношению к урану и торию мы находимся в несколько лучшем положении, так как в нашем распоряжении имеется ряд физических методов, позволяющих ощущать такие небольшие количества, которые не всегда улавливаются другими методиками.

Представление о региональной зараженности оловом было в свое время с успехом выдвинуто академиком С. С. Смирновым по отношению к северо-востоку Азии и дало исключительно плодотворные результаты. В его основе лежит эмпирическое обобщение, подтверждаемое большим опытом поисково-разведочного дела.

Действительно, какой бы из вышеуказанных районов ни рассматривать более подробно, для любого из них приходится считаться с фактом повышенной ураноносности.

Прекрасным примером, иллюстрирующим данное положение, могут служить Рудные горы. Здесь, на площади 5500 $км^2$, мы встречаем урановые минералы как в зоне окисления в виде урановых слюдок, так и в виде урановой смолки в ряде рудников. Число точек с урановыми слюдками определяется многими десятками. Они известны в гранитных каменоломнях около рудников, а также в грейзенах и в железных шляпах сульфидных рудных жил. Урановая смолка залегает не только в жилах кобальт-никелевой формации, но иногда встречалась в небольшом количестве в полиметаллических месторождениях. В Рудных горах установлены повышенно радиоактивные граниты; радиоактивность также сбнаружена в некоторых углистых сланцах и лигнитах. Там же находится ряд сильно радиоактивных источников.

2. *О благоприятной геологической обстановке*. Под этим понимается наличие в исследуемом районе кислых интрузий, окруженных ореолами рудных месторождений и развитие зон крупных региональных разломов, контролирующих оруденение. Для месторождений осадочного генезиса под благоприятной геологической обстановкой следует понимать наличие определенных фаций осадочных пород и прилегающих к ним областей питания с урановыми месторождениями и т. д.

Но учитываться должны не только эти локальные признаки, а также более широкие геологические предпосылки, как то: струк-

турно-тектоническое районирование территории и генетические типы структур, их геологический возраст, преобладающее распространение тех или иных пород, эрозионный срез, обилие рудных проявлений и т. д.

3. *О наличии на исследуемой территории рудных полей магматогенных месторождений или рудных площадей (зон и поясов) осадочных месторождений.* Как известно, металлы локализуются в совершенно определенных условиях, и для магматогенных месторождений эти условия определяются понятием «рудной провинции», т. е. наличием ряда взаимносвязанных факторов, которые предопределяют возможность осаждения металлических элементов.

Что касается осадочных месторождений, эти условия совпадают с понятием о «благоприятных фациях» для отложения различных руд.

4. *О присутствии в пределах рудных провинций благоприятных рудных формаций,* с определенной ассоциацией минералов, или благоприятных фаций, с определенным литологическим составом.

Кроме этих общих геологических положений, для каждого из главных типов месторождений должны быть намечены дополнительные критерии, зависящие от их генетических особенностей, а также от геологических и металлогенических особенностей данного района.

Поэтому надо всегда иметь в виду генетическую классификацию урановых и ториевых месторождений, составленную с учетом особенностей рудных формаций.

Автором данной статьи выдвигается следующая генетическая классификация, основанная на учете практически значимых концентраций радиоактивных элементов. Основные деления или классы выделены по процессам, а в их пределах намечены различные типы, с учетом по преимуществу слагающих их минеральных комплексов (по формации).

Классификация урановых месторождений

I. Класс магматогенных месторождений. Тип:

1) пегматитовый — гранитные пегматиты с уранитом;

2) пневматолитовый — высокотемпературные урановосные вольфрамовые жилы;

3) железорудных месторождений с наложенным урановым оруденением;

4) гидротермальный — урановосные сульфидные рудные жилы: а) кобальт-никелево-серебро-висмутовая формация, б) урановосная кварц-сульфидная формация, в) урановосная кварц-карбонатно-железистая формация.

II. Класс месторождений выветривания. Тип:

5) урановосные железные шляпы (урановые шляпы), с вторичными урановыми минералами в зонах окисления и цементации.

III. Класс осадочных месторождений. Тип:

6) карнотитовые месторождения;

7) органогенные месторождения урана, связанные с накоплением углистого или битуминозного вещества;

8) метаморфизованные ванадиевые, слабо урановосные сланцы.

IV. Класс фреатических месторождений. Тип:

9) рудоносные карстовые полости, связанные с фреатическими восходящими растворами.

V. Класс метаморфических месторождений. Тип:

10) кристаллические сланцы с горной смолой (тухолитом).

Классификация ториевых месторождений

I. Класс магматогенных месторождений. Тип:

1) пегматитовый: а) монацитовые и ортитовые гранитные пегматиты, б) гранитные пегматиты с ториевыми и урановыми минералами, в) пегматиты щелочных магм.

2) скарновый с торитом;

3) пневматолитовый с гидротермальными этапами.

II. Класс месторождений выветривания. Тип:

4) монацитоносные россыпи.

Предварительные специальные исследования и составление металлогенических карт

Высказанные положения заставляют ставить перед поисковыми работами специальные исследования радиоактивности образцов, хранящихся в коллекциях из данного района, а также составлять сводки радиоактивных проявлений и металлогении района. Это обязательная предпосылка грамотно проводимых работ.

Указанные задания обыкновенно выполняются так называемыми центральными ревизионными партиями.

На их долю в первую очередь приходится массовый промер образцов коллекций на радиоактивность. Этот промер должен дать первоначальные сведения о радиоактивных проявлениях на данной территории. Промеры выполняются в радиометрической лаборатории при помощи альфа-электроскопа или с помощью счетчиков импульсов типа Гейгер-Мюллера. Последние очень эффективны и позволяют проводить ревизию коллекций или кернов в местах их хранения.

В случае установления повышенно активных образцов, их надо исследовать более детально, непременно стремясь установить химическую и минералогическую природу активного начала, о чем подробнее будет сказано ниже.

При составлении карт радиоактивных проявлений нельзя ограничиваться только нанесением условных знаков для этих проявлений. Такая карта в лучшем случае явилась бы только регистрационной, отмечающей лишь географическое положение и особенности самих рудных проявлений. Эти данные не позволяют намечать связь радиоактивных проявлений с теми или иными геологическими

образованиями, давать прогнозную оценку районов и делать обобщения. Практика показывает, что собственно урановых или ториевых месторождений нет; обыкновенно эти элементы встречаются вместе с другими химическими элементами, с которыми они находятся нередко в определенной генетической связи. Именно по этим причинам составление карты радиоактивных проявлений должно быть выполнено на фоне общей металлогении района. Иначе говоря, радиоактивные проявления необходимо наносить на металлогеническую карту.

Таким образом, задача составления карты радиоактивных проявлений расчленяется на две части: 1) подготовку металлогенической карты в качестве основы и 2) сбор материала по радиоактивным проявлениям, с учетом значения различных видов радиоактивных проявлений как поисковых признаков, и последующее нанесение этих данных на карту, в виде дополнительных условных знаков.

Автором этой статьи был предложен способ составления металлогенической карты[1], при котором отдельные генетические классы рудных месторождений отмечаются формой значка, ведущий металл показывается условным цветом и величина месторождения размером значка. Формации (минеральные ассоциации) выписываются на полях карты, и соответствующие им номера ставятся около значков, обозначающих месторождения.

Ниже рассматриваются поисковые и оценочные критерии для двух главных типов: жильных уран-сульфидных месторождений и месторождений осадочного генезиса — карнотитовых, а также связанных с накоплением углистых или битуминозных веществ.

КРИТЕРИИ ДЛЯ ПОИСКОВ МАГМАТОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖИЛЬНОГО ТИПА

Общая характеристика

Этот тип является промышленно наиболее важным, и к нему принадлежат крупнейшие мировые месторождения.

Ориентируясь на эти месторождения, в идеальном случае надо учитывать следующие три взаимно связанных фактора: 1) первоисточники урана, 2) пути следования гидротермальных растворов и 3) места отложения урановых руд.

Как известно, источником ураноносных рудных растворов служат так называемые «рудоносные интрузии». Обычно это кислые интрузии гранитного типа, в которых преобладают калиевый полевой шпат и кислый плагиоклаз; нередко наблюдаются явления автопневматолиза, т. е. появление минералов, обогащенных летучи-

[1] Д. И. Щербаков. Принципы и методика составления металлогенической карты. Сов. геол. № 5, 1945, стр. 52 — 64.
Д. И. Щербаков. Принципы составления карт радиоактивных проявлений. Серия методических пособий. М., 1945.

ми компонентами — турмалина, топаза, литиевых слюд, апатита флюорита, а также альбитизация.

Чаще всего рудоносными являются гипабиссальные интрузии или их ответвления — малые интрузии. Во многих известных рудных провинциях рудоносные интрузии не обнажены процессами эрозии. Поэтому об их вероятной роли как источников гидротермальных растворов можно только догадываться.

Значительно более важную роль играют пути движения растворов и места отложения руд. Они локализуются на ограниченных площадях, которые принято называть рудным полем. В пределах рудных полей особо важное значение имеют те тектонические элементы, которые контролируют оруденение и являются, следовательно, контролирующими структурами. Различают контролирующие структуры первого порядка и им подчиненные, обычно сопряженные структуры второго и более мелких порядков.

Но наибольшее значение имеют, конечно, непосредственные места концентрации металлов—так называемые рудные проявления или рудные месторождения. Для них особое значение приобретает литологический контроль, наряду со структурным контролем тектонических элементов более низких порядков. Места отложения руд отвечают вместе с тем определенной термодинамической обстановке, характерной для отдельных ассоциаций минералов, образующих рудную формацию. Так, например, для месторождений урановой смоляной руды характерна термодинамическая обстановка, отвечающая полям устойчивости самородного висмута, самородного гипогенного серебра, арсенидов кобальта и никеля, а также месту перехода кварцевых жильных тел в карбонатные. Обращает на себя внимание роль углекислоты при общем избытке кислорода, обилии железа и недостатке серы.

Эти общие положения должны всегда опираться также на специфику исследуемого района, обусловливающую нередко некоторые отклонения от известных мировых генетических типов.

Данная краткая характеристика взаимно связанных элементов не говорит о чем-то специфичном для уранового оруденения. Она относится к любому гидротермальному рудному процессу. Тем не менее при более детальном изучении геологии урановых рудных провинций, структурных и литологических особенностей, а также последовательности этапов минералообразования иногда удается подметить некоторые отличительные черты. Среди последовательно развивающихся трещин разного направления и разного типа лишь некоторые совпадают во времени с фазой уранового оруденения. Именно они являются особо благоприятными для отложения урановой смоляной руды. Обычно, при развитии гидротермального процесса, урановое оруденение проявляется в виде отдельного этапа, который представлен самостоятельными жилами, с очень небольшим количеством минеральных видов — спутников собственно урановой фазы. Некоторую роль, повидимому, играет в качестве осадителя кальций во вмещающей породе.

Поисковые критерии

Основной поисковый критерий — это повышенная радиоактивность, проявляющаяся в повышенной ионизации воздуха района урановосных проявлений, в повышенной радиоактивности отдельных фаций или жильных дериватов магматических пород, а также гидротермально измененных зон или различных образований зон окисления рудных месторождений.

Установление этого факта или прямая находка радиоактивных минералов, как вторичных, так и первичных — это важнейший поисковый критерий. Путем для этого служит радиогеологическая съемка, сопровождаемая визуальными поисками.

Самая съемка не должна носить характера сплошной площадной съемки, а является выборочной, ориентированной преимущественно на более детальном изучении рудных полей с определением радиоактивности отдельных фаций магматических пород и в особенности различных минеральных образований. Подробнее этот вопрос разбирается ниже в главе о приемах поисковой работы.

Таким образом, основная задача поисков магматогенных месторождений урана сводится прежде всего к выделению рудных полей, к изучению их металлических особенностей и проведению в их пределах радиогеологической съемки.

Вне рудных полей можно найти лишь одиночные рудные проявления, а в огромном большинстве случаев не будет и их. Следовательно, назначение маршрутов на таких площадках сводится к установлению границ рудных полей. Ведь только при достаточно благоприятном и сравнительно редком сочетании ряда геологических факторов создаются условия, способствующие проникновению летучих возгонов и гидротерм в те части земной коры, где в силу охлаждения и падения давления, а также взаимодействия с боковыми породами происходит отложение рудных минералов.

Наличие рудных полей приобретает значение важного, но общего поискового критерия. Специфическое значение для поисков урана имеют лишь некоторые типы рудных формаций, находящиеся в тех или иных рудных провинциях, особо благоприятные для его отложения. Поэтому, в общем случае, нужно стремиться изучать такие рудные провинции, в пределах которых находятся месторождения разных глубинных зон, в том числе мезо- и эпитермальные.

Как известно, понятие об урановосных формациях создано эмпирическим путем, на основании обобщения сравнительно небольшого опыта. В первом приближении и приходится им руководствоваться, дополняя его, по возможности, опытом по данному району, который может внести иногда существенные коррективы.

Можно дать следующую характеристику благоприятной рудной формации, господствующей для урана. Эта формация очень хорошо выделена американским геологом Бастином в статье, опуб-

ликованной в 1939 г.[1] Бастин отмечает, что урановая смоляная руда, как правило, встречается в кобальт-никелевых рудах с самородным серебром. Этот тип руд он рассматривает как самостоятельную рудную формацию.

Для этой формации характерно присутствие следующих химических элементов, образующих рудные минералы: мышьяк, кобальт, никель, висмут, железо, серебро, уран и элементов, образующих жильные минералы: кремний, железо, марганец, кальций, магний, фтор, барий и углерод в виде углекислоты.

Обычно эти элементы входят в состав следующих рудных минералов: самородного висмута и гипогенного самородного серебра, урановой смоляной руды, арсенидов кобальта и никеля, висмутина, аргентита и сульфосолей серебра, железного блеска.

Указываются следующие жильные минералы: кварц, карбонаты железа, марганца, магния и кальция, флюорит, барит, а в боковой породе нередко отмечается железистый хлорит. Формация носит мезо- и эпитермальный облик.

Жилы этой формации, повидимому, образуются на не особенно большой глубине. Они отличаются сильной телескопированностью и встречаются обычно вблизи гранитных интрузий определенного состава. Нередко здесь же известны более высокотемпературные жилы с оловянным камнем и вольфрамитом, сопровождаемые явлениями грейзенизации.

Но было бы ошибкой считать, что там, где находятся арсениды кобальта и никеля, непременно будет встречена урановая смоляная руда. Описываются многие рудники с этими минералами, серебром, иногда и висмутом, но без урана.

Наряду с такими рудниками известны жилы, совершенно не содержащие кобальта и никеля, но имеющие в своем составе урановую смолку.

Так, например, в районе Джильпин (Колорадо), с его известными сульфидными мезотермальными золотыми и серебряными месторождениями, существуют колчеданистые кварцевые жилы с урановой смолкой. Последняя выделилась после серного и медного колчедана, но до цинковой обманки и свинцового блеска. Она сопровождается небольшими количествами сидерита и кальцита. В этих жилах присутствуют в незначительных количествах самородный висмут и висмутинит.

Наконец, известны случаи отложения урановой смолки в прожилках, секущих геологические тела более ранних этапов: кварц-арсенопиритовые, сульфидные, с сидеритом и кварцем, баритовые с небольшим количеством анкерита и сульфидов, богатые серебром. В этом случае отложение урановой смолки сопровождалось железистыми хлоритами и небольшим количеством доломита. Процесс протекал в среде, богатой кислородом; серы было мало, и она

[1] E. S. Bastin. The nickel-cobalt-native ore type. Economic Geology, vol 45, No 1, 1939, pp. 1—40.

не была в состоянии связать все железо в виде сульфидов; углекислота играла заметную роль.

Очень редко поисковики находят урановую смоляную руду вблизи дневной поверхности. Это первичный минерал, залегающий ниже зоны окисления и почти всегда даже ниже сульфидной зоны, сложенной рядом первичных минералов. Урановая смолка легко растворяется в присутствии даже небольших количеств серной кислоты. Так же легко из этих растворов при их усреднении выпадают вторичные урановые минералы в зоне железной шляпы.

В связи с тем, что в большинстве случаев поисковики имеют дело с поверхностной зоной месторождений, особое значение в качестве поисковых признаков приобретают зона окисления жильных месторождений, а также ореолы рассеяния, наблюдаемые на дневной поверхности. Поэтому так называемые железные шляпы и ореолы рассеяния около месторождений являются руководящим поисковым критерием, если, конечно, они содержат вторичные минералы урана зоны окисления или проявления радиоактивности.

Для ореола рассеяния характерно, как правило, концентрическое распространение различных зон. В наиболее внешней и удаленной от рудного тела зоне нередко встречаются карбонаты, содержащие следы урана, которые светятся в ультрафиолетовых лучах.

Другой такой зоной (ближе к рудному телу) является область распространения опаловидных кварцевых корочек, также содержащих уран и светящихся в ультрафиолетовом свете. Это так называемая область гиалитов.

Наконец, непосредственно над рудным телом встречаются различные силикаты урана и урановые слюдки.

Кроме этой горизонтальной зональности, как правило, наблюдается вертикальная зональность, т. е. вторичные изменения с глубиной. Около самой дневной поверхности находится зона выщелачивания, где нередко сохраняются лишь губчатые массы бурых железняков и пустоты от выщелачивания ранее существовавших минералов. В ней же, как правило, сохраняются барит и скелеты кварца. Лишь тогда, когда эта зона вскрывается горными выработками, обнаруживается главная масса вторичных силикатов и слюдок урана. Они залегают в той части разреза, которая приходится на наиболее характерную часть зоны окисления (определившую это название), причем урановые слюдки распространяются в вертикальном направлении, подчиняясь определенным законам зональности.

Вблизи самой поверхности встречаются силикаты урана и содержащие уран гиалиты, ниже наблюдается отенит, а еще глубже — торбернит (хальколит) и цейнерит.

Около уровня грунтовых вод наблюдается наибольшая концентрация серной кислоты, образующейся в результате окисления сульфидных руд. Здесь слюдки уже не могут существовать, по-

этому появляется пустая зона, где лишь изредка на крепях проходок отлагаются, в связи с капиллярным подъемом растворов и их испарением, различные мало устойчивые сульфаты уранила.

Еще ниже, уже в пределах застойных грунтовых вод находится зона цементации, с реликтами первичных сульфидных руд и урановой смолки. Для этой зоны в особенности характерно образование урановых черней, выпадающих из слабо щелочных растворов при наличии восстановителей: водорода, сероводорода, двухвалентного железа и т. д.

Когда разведочные выработки опускаются в первичную зону, то в ее пределах приходится считаться с вероятностью встретить проявление нескольких этапов минералообразования, причем очень важно установить место, занимаемое урановой смоляной рудой в рудном процессе, или собственно урановый этап. Практика показывает, что этот этап во многих случаях является одним из более поздних, связанных с новой системой трещин или с возобновлением подвижек по ранее существовавшим рудным швам. В силу этого собственно урановый этап нередко накладывается на сульфидный этап, или представляющие его прожилки пересекают жилы и прожилки с минералами более ранних этапов.

Указанные явления в зоне окисления, в зоне цементации и их значение в качестве поисковых критериев подробно изложены в статье В. Г. Мелкова, помещенной в данном сборнике.

Для собственно уранового этапа, кроме ряда парагенных минералов, можно отметить и те не менее характерные изменения в сопровождающих жильных минералах, которые объясняются радиоактивным распадом. Так, например, доломит делается мясокрасным, барит — коричнево-бурым, так же как иногда кварц. Появляется темнофиолетовый, почти черный плавиковый шпат, наблюдается обильное выделение мельчайших частиц железного блеска, придающего иногда красный оттенок вмещающей породе.

Последовательность и специальные приемы поисков

Из всего вышесказанного вытекает определенная последовательность процессов поисков и оценки месторождений. В первую очередь необходимо установить факт региональной зараженности ураном, который касается как отдельных больших территорий, так и отдельных рудных провинций. Для этого, прежде всего, надо найти урановые минералы или обнаружить заметно повышенную радиоактивность различных образований: горных пород, жильных выделений, различных минеральных скоплений и т. д. Это достигается или путем массового промера штуфов при помощи альфа-электроскопа, с последующей проверкой в порошках наиболее радиоактивных образований, или путем пересечения рудной площади по профилям, с попутными наблюдениями при помощи гамма-ионизационного прибора или гамма-счетчика. При этом

должны наметиться участки с повышенной радиоактивностью. Хорошие результаты также дают измерения ионизации воздуха (при помощи прибора Эберта), о чем подробно сказано в статье М. В. Кравченко, помещенной в данном сборнике.

Параллельно нужно производить *визуальные поиски*, которые приводят к установлению различных рудных проявлений и процессов минералообразования. Рудные проявления надо привести в связь с тектоническими элементами района — складчатостью, сбросами, зонами смятий и т. д., выявляя при этом пути движения рудоносных растворов.

Все указанные процессы можно объединить одним понятием — радиогеологическая съемка. При изучении твердых природных тел рекомендуется производить исследование их радиоактивности по стратиграфо-литологическим формациям, а для магматических пород — по их фациям (в понимании Усова) или по продуктам отдельных этапов постмагматических процессов. Минеральные скопления также надо проверять на радиоактивность, стремясь дать характеристику отдельных этапов их отложения. Так, например, изучая сложный магматический массив, следует располагать точки наблюдений на площади его выхода не просто по сетке с разными интервалами между точками, а таким образом, чтобы дать представление о радиоактивности каждого самостоятельного этапа — первого и последующих внедрений магмы, жильных дериватов, контактной зоны и связанных с ними гидротермальных образований. Каждый этап получает свою среднюю характеристику не по одному, а по нескольким образцам (до десятка и более). Тот же принцип прилагается и к изучению разрезов осадочных пород, а также рудоносных зон. Подробнее об этом сказано в специальной инструкции[1].

Изучение радиоактивности проводится или с помощью простого альфа-электроскопа или более совершенными приемами: гамма-счетчиком и бета-счетчиком, которые позволяют работать значительно скорее, чем альфа-прибор.

Параллельно проводят и визуальные поиски.

Не следует ограничиваться только показаниями полевых радиометрических приборов, а в каждом данном случае стремиться установить *химическую и минералогическую природу* радиоактивного начала. Необходимо разобраться в этом вопросе, так как познание химической и минералогической природы позволяет подойти к пониманию того процесса, с которым связано образование концентрации радиоактивных элементов.

Одновременно с визуальными минералогическими наблюдениями проводится исследование структурных и литологических особенностей. В первую очередь предметом изучения должны служить

---

[1] Ю. Н. Копытко. Инструкция по организации и производству работ центральных партий. М., 1945. См. § 19. Принципы взятия и сбора образцов (стр. 9 — 10).

различные трещины или тектонические нарушения, а также зоны гидротермальных изменений. Когда выявлены наиболее интересные рудные проявления, необходимо приступить к их более детальному изучению.

Наступает этап, который можно назвать этапом комплексных наблюдений, когда уже начинается картирование установленных элементов. Составляют карту ореола рассеяния урана, пользуясь комбинированными методами: люминесцентным анализом, радиометрическими и визуальными наблюдениями. Совмещением результатов этих трех видов наблюдений удается оконтурить проявление урановости и наметить области повышения ее концентрации. Выявление такого фокуса облегчает выбор места заложения горных выработок. При этом надо учесть возможность применения той единственной радиометрической методики, которая иногда позволяет проникнуть в недра земли и коррелировать внешние проявления с оруденением на некоторой глубине. Это метод эманационной съемки. Часто бывает, что внешние проявления очень заманчивы, на поверхности видно довольно интенсивное оруденение, а на глубине оно по той или иной причине прекращается. Для того, чтобы избежать неправильной оценки таких рудных проявлений, в данном случае применяется эманационная съемка. Вкрест простирания рудного тела проходят эманационные профили. С этой целью закладываются бурки и из них подсасывается воздух, в котором определяется содержание эманации. По пройденным профилям строятся кривые; в одном случае они могут быть очень расплывчатыми, в другом — резко выраженными, с высокими пиками, которые отвечают большому количеству эманации. Расплывчатые кривые с низким содержанием эманаций показывают, что радиоактивное начало залегает только у дневной поверхности.

В нашей практике известен случай, когда на одном из месторождений были найдены эффектные выцветы карнотитов на поверхности черных кремнистых сланцев, распределенные линейно в виде полос. Первоначально они были приняты за крупное месторождение. Однако эманационной съемкой было установлено, что радиоактивность воздуха из скважин невелика, так как радиоактивное начало находится на самой поверхности в зоне окисления, а на глубине его, повидимому, совершенно нет. И действительно, этот вывод был подтвержден довольно большим объемом горных выработок.

Можно привести обратный пример. В одной жиле; вскрытой с поверхности канавами, была известна не особенно богатая ураном зона окисления, но эманационные профили давали очень значительную аномалию. Поэтому разведчики всячески настаивали на проходках глубоких выработок, будучи уверенными, что на глубине должны находиться такие концентрации урана, которые объяснят большую аномалию. Так и оказалось: аномалия действительно отвечала месту нахождения рудного столба.

Эманационный метод позволяет проникнуть в глубины порядка 10 *м*.

Подводя итоги сказанному, нужно еще раз подчеркнуть, что при оценке рудной провинции на урановоносность основной задачей является установление повышенной радиоактивности порядка хотя бы сотых долей процента U_3O_8 или присутствия каких-либо радиоактивных минералов. Это достигается проведением радиогеологической съемки, при которой применяются: определение ионизации воздуха, массовый промер образцов альфа-электроскопом, гамма-счетчик для съемки по маршрутам, люминоскоп для установления вторичных урановых минералов, микрохимические и капельные реакции для установления урана.

Параллельно проводятся визуальные поиски и обычные геологические наблюдения.

В случае находок повышеннорадиоактивных образцов совершенно обязательным является:

1) установление химической природы радиоактивного начала — урана или тория;

2) установление минералогической природы радиоактивного начала.

Без познания этих элементов невозможно судить о происхождении радиоактивности, а следовательно немыслима оценка находки, суждение о ее значимости, и нельзя сделать выводы о дальнейшем направлении работ.

Места с повышенной радиоактивностью необходимо вскрывать канавами, шурфами, так как около самой дневной поверхности, в зоне выщелачивания, минералы урана плохо сохраняются, в силу чего затруднительно судить о природе радиоактивности изучаемой точки.

Предварительная оценка

Самый трудный этап работы — это момент оценки перспективности находок. Существуют ли критерии для того, чтобы судить, заслуживает ли данная точка разведки и представляет ли она практический интерес? В большинстве случаев приходится производить оценку по зоне окисления и по поверхностным расчисткам или неглубоким шурфам. В данном случае всегда нужно руководствоваться характером рудного процесса и его масштабом. Мы должны учитывать причины, вызвавшие оруденение, и отдавать себе ясный отчет в том, что может привести к образованию тех или иных минералов. Надо также принимать во внимание общий масштаб данного процесса. Он определяет отношение к найденному объекту. Если рудное проявление небольшое, то оно имеет, главным образом, значение положительного поискового признака. Если это проявление крупных размеров, и чувствуется, что весь масштаб данного явления, будь то первичное или вторичное образование, очень значителен, то отношение

к объекту должно быть совершенно другим. Именно масштаб самого рудного процесса определяет перспективность находки.

Имея в виду уран, надо помнить, что в зоне окисления сохраняется только некоторая его часть, вновь выделившаяся из раствора, так как большая его часть уже вынесена. Поэтому если, не считаясь с процентным содержанием, подсчитать, какое количество урана находится в зоне окисления, и учесть характер рудной формации, то можно довольно смело полагать, что ниже находится его больше, чем в зоне окисления. В большинстве случаев более глубокая зона содержит бо́льшие количества урана, чем те, которые находятся в зоне железной шляпы.

При оценке месторождения нельзя никак ориентироваться только на одну зону окисления. Это связано с тем, что процессы минералообразования в зоне окисления подчиняются очень сложным законам. Они зависят от рельефа местности, от характера поверхностных и грунтовых вод; кроме того, зона выщелачивания может быть очень большой, а окисленная зона — маленькой, или зона выщелачивания может совсем отсутствовать, и близко к поверхности будет расположена зона цементации. Поэтому делать ответственное заключение только по зоне окисления чрезвычайно трудно. Нужно стремиться сопоставить наблюдения по зоне окисления с данными по зоне цементации. Это дает некоторую гарантию, что не будет сделано ошибочного заключения по одному из взаимно связанных проявлений зоны окисления, рассматриваемой в целом.

Наконец, на этом этапе очень большую роль играют правильное представление о генезисе месторождения и сравнительный анализ, при котором учитывается опыт мировой практики. Надо постараться подобрать аналогичный тип оруденения и делать заключения на основе сравнительного анализа.

КРИТЕРИИ ДЛЯ ПОИСКОВ ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАСТОВОГО ТИПА

Общая характеристика

Ориентируясь на данный класс месторождений, надо обращать внимание в первую очередь на три взаимно связанные области: 1) питания, 2) сноса и 3) отложений.

Область питания содержит первичный источник урана. Область сноса — вероятный путь движения урана в растворе или в измельченном состоянии. И, наконец, область отложения соответствует месту концентрации радиоактивных элементов, отвечая одновременно и месту образования тех или иных осадочных пород.

Необходимо напомнить, что без области питания, т. е. без наличия такой геологической структуры, где первоначально концентрируется уран, не может существовать никакой области его отложения.

Эту взаимную связь в большинстве случаев очень трудно установить. Она скорее строится логически, на основе целого ряда предпосылок, чем устанавливается непосредственно, но все-таки она помогает ориентироваться и разобраться в перспективе того или иного района. Например, для западной Швеции, учитывая близость Фенно-Скандинавского щита с его гранитными интрузиями, пегматитами и гидротермальными жилами, которые разрушались и, вероятно, питали квасцовые сланцы кембрия, легко увязать месторождения Кольма с первоначальной урановостью самого щита.

Пути движения растворов, играющие большую роль в образовании гидротермальных отложений, для которых они специально изучаются, не имеют того же значения при изучении осадочных месторождений. Эту область возможно иногда реконструировать путем геологических построений. Например, изучая петрографический и минералогический состав осадочных толщ, очень часто удается решить вопрос об области питания, которая одновременно является областью питания и для урановых месторождений, а отсюда можно судить и о направлении сноса.

Существенно важной для изучения является область осаждения или отложения, т. е. те участки, где могут концентрироваться урановые месторождения в осадочных породах. Именно этой области надо уделять наибольшее внимание. В данном случае приобретает исключительное значение представление о ф а ц и я х, благоприятных для отложения урана.

Достаточно в качестве примера указать на изменения радиоактивности вод океана; она резко меняется и убывает по мере движения от берега к центральным частям океана. То же самое относится к концентрации урана в осадочных породах. Грубые кластические фации не способствуют развитию организмов и вообще созданию восстановительной среды. Очень мелкий отмученный материал уносится черезчур далеко в море .Наиболее благоприятной будет какая-то промежуточная зона органогенных или терригенных отложений, где возможно развитие органической жизни и накопление органических остатков.

Для континентальных отложений это будут о з е р н ы е ф а ц и и. Из опыта, который мы имеем, видно, что исключительная роль для концентрации урановых соединений принадлежит восстановительной среде.

Так, например, если снос урановых солей происходит в соленосную или гипсоносную лагуну, где не протекают специфические восстановительные реакции, то, совершенно естественно, уран распылится в массе отлагающейся соли или гипса. В этих условиях не может произойти концентрация урана, т. е. образование месторождения. Совершенно иная обстановка будет наблюдаться при наличии слабо щелочной придонной среды и восстановительных условий. Растворы, опускаясь в эти зоны, нередко подвергаются метаморфизации; сульфаты урана переходят при этом в карбона-

ты, а из карбонатов в слабо щелочной среде сероводород или разлагающаяся клетчатка (может быть и при участии микроорганизмов) способны восстановить уран и заставить его выпасть в виде окислов, т. е. урановых черней, или, быть может, в виде сернистого соединения, которое быстро гидролизуется и переходит в окислы. В данном случае возможны концентрации урановых, а также и ванадиевых соединений, приводящие к образованию сингенетических урановых и урано-ванадиевых месторождений осадочного класса.

Вероятно, осаждение урана из растворов может итти также в условиях, благоприятствующих образованию метасоматических залежей фосфоритов. Известно, что фосфат натрия осаждает нерастворимое соединение — UO_2HPO_4.

Возможно, что в некоторых случаях выделению урана способствовали углекислые соли бария и стронция. Углекислый барий осаждает нерастворимый $Ba_2\ UO_2\ (CO_3)_3$.

Последовательность и специальные приемы поисков

Как и для магматогенных месторождений, следует начинать работу с выбора района поисков. При этом необходимы:

1. Анализ благоприятной геологической обстановки. Надо учесть возможные области питания. Затем производится предварительный фациально-литологический анализ территории поисков и на основании этого исследования (по литературным и музейным материалам) выделяются благоприятные фации. Как указывалось выше, такими фациями обычно являются терригенные фации моря или озерные континентальные фации.

Наиболее благоприятными являются такие места, где сносимый материал подвергался уже некоторому отмучиванию и где возможно накопление органических остатков или развитие жизни. В частном случае они отвечают нефтепроизводящим фациям.

2. Массовое опробование образцов осадочных пород при помощи альфа- и гамма-приборов, с особым вниманием к образцам углей, углистых сланцев и битуминозных пород.

После этого наступает этап полевых исследований. Он сводится прежде всего к изучению фациально-литологического состава отложений в районе работ и к параллельным поискам, как визуальным, так и проводимым с помощью радиометрических приборов и люминоскопа. Поиски должны быть ориентированы на определенные генетические типы осадочных месторождений.

Маршруты начинаются с изучения осадочных толщ по профилям и с более детальной проработки опорного профиля. По этим же профилям дается первая общая характеристика радиоактивности осадочного комплекса.

Специальное внимание и более детальное опробование распространяется: 1) на так называемые «древесные формации» (с ископаемыми лигнитизированными и окаменелыми растительными ос-

татками); 2) на районы распространения медистых песчаников, всегда свидетельствующих о наличии областей сноса с месторождениями руд; 3) на углистые и битуминозные скопления и 4) на нефтепроизводящие свиты.

При обнаружении каких-либо радиоактивных проявлений следующая задача сводится к установлению границ распространения благоприятного фациально-литологического комплекса, что осуществляется проведением сравнительно редких маршрутов на большой территории и параллельному прослеживанию рудоносного пласта по простиранию.

Более детально это изложено в статье Б. А. Петрушевского, помещенной в настоящем сборнике.

Поиски месторождений карнотитового типа

При современном состоянии знаний о генезисе карнотитовых месторождений не представляется возможным заранее предсказать, где могут быть обнаружены месторождения этого типа. В данном случае решающее значение имеет первая находка карнотитовых минералов или установление факта карнотитоносности района.

Лишь при наличии этого факта могут вступить в силу специальные поисковые критерии, разработанные преимущественно по данным американских исследователей, на опыте изучения карнотитоносного района штатов Колорадо и Юта.

Практикой геологов и проспекторов западных штатов твердо установлена определенная последовательность работ:

1. Сначала определяется стратиграфическое положение найденного рудного скопления и его приуроченность к породе того или иного литологического состава.

2. Затем поиски распространяются в стороны, по простиранию рудоносного пласта, с охватом некоторой части выше и ниже лежащих пород. При этом большое внимание обращается:

а) На окраску разреза — яркие красные, малиновые, фиолетовые цвета противопоказаны и рекомендуются бесцветные или зеленовато-серые тона, свидетельствующие о восстановительной среде.

б) На фациально-литологические особенности — благоприятными являются озерные и русловые фации, представленные диагонально-слоистыми песчаниками.

в) На наличие погребенных растительных остатков — камыш, ветки, стебли, разложение которых способствовало осаждению уранованадатов.

г) На минералогические признаки — нахождение в обнажениях урано-ванадиевых и ванадиевых минералов, смену по вертикали сульфатной среды (гипс, ярозит, эпсомит) карбонатной (появление кальцита в цементе песчаника).

д) На радиоактивность и ванадиеносность, что устанавливает-

ся гамма-счетчиками, альфа-промерами и применением химических реакций для определения ванадия.

е) На остаточные образования и структуры выщелачивания или заполнения — появление окислов железа, заполняющих выщелоченные участки, и т. д.

ж) На типы рудных концентраций. Более обещающими являются полосчатые или равномерно-вкрапленные руды. В качестве положительного признака рассматриваются рудные стяжения (замещения веток, стволов). Менее надежны остаточные руды с явными признаками выщелачивания. Наконец, явно вторичные образования — пленки, налеты, примазки, редкие вкрапления — заставляют относиться очень осторожно к положительной оценке участков, где они появляются.

3. Опытным путем устанавливаются границы распространения оруденения в пределах благоприятной рудной формации. Поиски концентрируются на таким образом оконтуренной площади.

Промышленная оценка найденных выходов руды представляет большие трудности и связана с необходимостью их вскрытия горными выработками или постановки разведочного бурения по густой сетке (25—50 *м*).

В нашей практике придается значение сопоставлениям возможных областей питания с районами отложения осадочных пород и руд. По одной из этих взаимносвязанных площадей ориентируются поиски другой площади.

Наконец, очень большое значение имеет правильное представление о генезисе данных рудных проявлений. От него зависит направление разведочных работ. Поэтому, наряду с проведением поисков, необходимо вести исследовательские работы по изучению литологии рудовмещающих толщ, минералогического состава руд, морфологии месторождений и типов руд, в совокупности позволяющих судить о генезисе. Указанные данные помогают правильно проводить опробование месторождений.

Более детально поисковые критерии в применении к карнотитовым месторождениям развиты в статьях Я. Д. Готмана, В. В. Щербины, Е. А. Салье и Б. А. Петрушевского.

В. Г. Мелков

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОИСКОВ УРАНА

Введение

Поиски, разведка и эксплоатация месторождений любого полезного ископаемого неизмеримо облегчаются, если их удается производить, руководствуясь установленными закономерностями, которым подчиняются образование, формы и размеры залежи полезного ископаемого. Кроме того, большое практическое значение имеет знание возможно большего комплекса явлений, определяющих или непосредственно сопровождающих формирование залежи. Важно также знание явлений, возникших за время существования залежи или в результате ее частичного разрушения (метаморфизм, выветривание и др.).

Получить представление о всех перечисленных закономерностях можно лишь на основе детального и всестороннего изучения известных месторождений и научной интерпретации полученных фактических данных. Совершенно естественно, что степень достоверности и полнота выводов определяются количеством изученных месторождений. К сожалению, урановых месторождений известно немного и изучены они слабо.

По этим причинам учение о поисках урановых месторождений находится в состоянии предварительных обобщений, вследствие чего мы не можем в настоящее время ответить на некоторые как практические, так и общетеоретические вопросы. Поэтому освещение вопроса о поисках урановых месторождений сводится в настоящее время скорее к изложению точно установленных фактов, отдельных частных приемов поисков и т. д., чем к стройному изложению учения о поисках, т. е. описанию полного комплекса поисковых критериев применительно к главнейшим типам урановых месторождений.

Однако даже то, чем располагает в настоящее время наука в вопросе о поисках урановых месторождений, представляет собой большой практический интерес и, несомненно, должно быть ис-

пользовано в прикладных целях. Практическое применение накопленных данных уже привело в целом ряде случаев к положительным результатам и соответственно к дальнейшему развитию самого учения о поисках.

Поиски любого полезного ископаемого сводятся к выбору перспективной территории и к непосредственному обследованию этой территории.

В первом случае необходимо знание геологического строения выбираемой территории и общих геологических и геохимических условий или закономерностей, определяющих концентрацию интересующего нас полезного ископаемого. Необходимо также представлять себе, в форме каких соединений данные полезные ископаемые могут быть встречены, и учитывать уже установленные прямые и косвенные признаки их наличия.

Во втором случае необходимо знать, помимо всего только что изложенного, также поведение полезного ископаемого в тех или иных условиях выветривания, свойства образующихся продуктов разрушения и целый ряд других, более частных и местных закономерностей и признаков.

Обследование той или иной территории в целях поисков месторождений полезных ископаемых сводится в конечном итоге к обнаружению полезного ископаемого или содержащих его минералов и выяснению размеров их накопления.

Установление наличия и количества этих природных веществ производится или чисто минералогическими приемами, т. е. по их внешним признакам, или прибегают к использованию некоторых специфических физических свойств, легко регистрируемых теми или иными приборами.

Применительно к урановым минералам такими замечательными свойствами являются их радиоактивность и способность в ряде случаев прекрасно люминесцировать в ультрафиолетовых лучах.

В настоящей статье невозможно осветить все фактические и теоретические данные, а также технические приемы, знание и применение которых может облегчить поисковые исследования.

Предлагаемая статья посвящена лишь изложению минералогических и геохимических фактов и вытекающим из них обобщениям.

Приемы практического применения люминесцентного анализа к диагностике урановых минералов и поискам урановых месторождений изложены в специальной работе автора, издающейся одновременно с настоящим сборником.

Изучение минералогии урана и урановых месторождений, а также геохимии урана и радия в зонах окисления и цементации позволяет наметить некоторые критерии, облегчающие поиски урана.

Минералогические и геохимические поисковые признаки можно разделить на общие (региональные) и рудничные (локальные).

Первые в свою очередь могут быть подразделены на прямые и

косвенные, а вторые — на признаки в зоне выщелачивания и признаки в зоне цементации. Ниже разбираются лишь общие поисковые признаки. Рудничные поисковые признаки имеют более узкий интерес и вырабатываются применительно для каждого рудника в отдельности.

Изложение только что упомянутых сведений ведется в основном применительно к гидротермальным месторождениям урана. Однако целый ряд данных и выводов имеет большое значение для понимания генезиса и поведения урана и в осадочных формациях и, следовательно, может также служить для разработки поисковых критериев и применительно к этим типам месторождений.

Изложению общих закономерностей поведения урана в зонах выщелачивания и цементации гидротермальных месторождений, поведения урана в осадочном процессе и поисковых критериев предпошлем разбор одной из важнейших как в практическом, так и в генетическом отношении групп природных урановых соединений — безториевых кислородных соединений урана (часть минералов урановой смоляной руды), без некоторых сведений о свойствах и природе которых трудно составить представление об указанных закономерностях.

Безториевые кислородные соединения урана

Несмотря на то, что понятие об уране появилось еще в конце XVIII столетия (1769 г.) и уран как химический элемент был выделен более 100 лет назад (1842 г.), геология урана в широком смысле этого слова еще очень плохо разработана.

«Наиболее важные минералы урана, как, например, группа урановой смоляной руды, из которой добыт первый радий, едва начинает выясняться и отчетливо различаться». Вернадский, «Очерки геохимии», 1937 г. Между тем имеются все основания считать, что минералы этой группы чрезвычайно важны не только в практическом отношении (руды урана и радия), но они имеют весьма существенное значение в круговороте урана как единственные формы его концентрации.

Минералы группы урановой смоляной руды в основном являются членами тройной системы ThO_2—UO_2—UO_3. Минералы, в состав которых входят все эти три окисла, принято относить к уранинитам. Они встречаются в пегматитовых и частично пневматолитовых телах.

Минералы, в состав которых в основном входят только UO_2 и UO_3 (двойная система UO_2—UO_3), имеют наибольший практический интерес и выпадают из гидротермальных и фреатических растворов. Среди этих минералов различаются колломорфные настураны и рыхлые урановые черни.

В результате экспериментального изучения Б. Бильтцем и Г. Мюллером двойной системы UO_2—UO_3, а также изучения природных веществ общего состава $kUO_2 \cdot lUO_3$ следует:

а) Между UO_2 и UO_3 существует непрерывный ряд веществ переменного состава и определенное соединение $UO_2 \cdot 2UO_3 = U_3O_8$.

б) UO_2 и U_3O_8 характеризуются черным или зеленовато- и коричневато-черным цветом и имеют свои собственные кристаллические решетки. UO_3 — вещество аморфное желто-оранжевого цвета.

в) Как UO_2 может переходить в U_3O_8 и далее в UO_3, так и UO_3 может переходить в U_3O_8 и далее в UO_2.

г) В естественных условиях известны вещества, содержащие UO_3 и UO_2 в соотношении от 0,21 до 4,7. Вещества идеального состава UO_2 и UO_3, полученные искусственным путем, в природных условиях не установлены. Известны лишь гидраты этих окислов (янтинит, беккерелит, минерал *X*, скупит).

д) Цвет, блеск, механическая прочность, удельный вес, твердость, характер агрегатов, отношение к травителям, растворимость и т. д. закономерно изменяются от UO_2 к UO_3.

Для упрощения обозначения отдельных природных членов непрерывного ряда соединений предлагается пользоваться кислородным коэфициентом, т. е. величиной атомного отношения кислорода к урану. Формула подобных соединений будет UO_x, где $x = 2{,}00—2{,}92$, причем коэфициент может вычисляться с любой степенью точности.

Почти полное совпадение результатов физико-химического изучения системы $UO_2—UO_3$ с результатами всестороннего минералогического изучения соединений типа $kUO_2 \cdot lUO_3$ позволяет приложить физико-химическую интерпретацию природы упомянутой системы к естественным соединениям и подойти к их классификации.

Все равновесные вещества непрерывного безториевого ряда соединений от UO_2 до UO_3 можно разделить на два ряда: ряд настуранов ($UO_{2,00}—UO_{2,70}$) и ряд урановых черней ($UO_{2,70}—UO_{2,92}$).

В ряду настуранов можно выделить три разновидности:

а) от $UO_{2,00}$ до $UO_{2,30}$ — твердые растворы кислорода в кристаллической решетке UO_2 (окислы);

б) от $UO_{2,30}$ до $UO_{2,62}$ — смешанные кристаллы $UO_2 + U_3O_8$ (смешанные кристаллы уранатов и окислов);

в) от $UO_{2,62}$ до $UO_{2,70}$ — вещества, относящиеся к уранатам с кристаллической решеткой U_3O_8.

В ряду урановых черней, представляющих собой твердые растворы UO_3 в U_3O_8, можно выделить урановые черни, бедные и богатые кислородом. По условиям образования, морфологическим свойствам и т. д. можно выделить урановые черни остаточные (продукты разрушения настурана in situ) и регенерированные (вещества, выпадающие из водозных растворов).

Предполагаемая трактовка природы соединений типа $kUO_2 \cdot lUO_3$ объясняет:

а) различное отношение разных членов ряда к травителям;

б) наличие кристаллической решетки, мнимое увеличение степени раскристаллизованности с увеличением степени разрушенно-

сти и темный цвет у рыхлых остаточных урановых черней, в составе которых устанавливаются весьма небольшие количества UO_2;

в) процесс окисления и разрушения настуранов в зонах супергенеза, а также ряд других вопросов.

Причинами увеличения отношения $UO_3 : UO_2$ в природных веществах являются окислительно-восстановительные процессы. Среди установленных такого рода геологических процессов можно указать:

а) взаимодействие отложенного вещества с окисными соединениями железа $UO_2 + Fe_2O_3 \rightleftarrows UO_3 + 2FeO$;

б) воздействие углекислых гидротермальных растворов на отложенное вещество;

в) радиоактивный распад с накоплением внутри минерала кислорода, который может окислять UO_2;

г) супергенные процессы с участием свободного кислорода и окислительных реакций по отношению к U^{4+}.

До самого последнего времени считалось, что природные вещества общего состава $kUO_2 \cdot lUO_3$ могут выпадать лишь из гидротермальных растворов.

Однако теперь известно, что вещества такого состава выпадают в условиях зоны цементации гидротермальных месторождений урана, а также встречаются в осадочных формациях, образуясь в момент накопления осадка.

Таким образом, можно считать установленным, что вещества общего состава $kUO_2 \cdot lUO_3$ образуются также из вадозных растворов.

Выяснение в полной мере условий, которые благоприятствуют выносу урана гидротермальным раствором из очага, содержащего уран, и выпадению из него геля общего состава $kUO_2 \cdot lUO_3$ (настурана), несомненно, связано с большими и в известной части непреодолимыми в настоящее время затруднениями. Разбираемые условия не могут быть непосредственно изучены. Они могут быть только в некотором приближении реставрированы.

В развитии гидротермального цикла урановое оруденение обычно проявляется отдельной фазой или стадией. Она почти всегда бывает представлена в виде самостоятельных жил или жилок в отдельных месторождениях, состоящих из сравнительно очень небольшого количества минералов. Главными являются кислородсодержащие минералы — окислы (гематит, кварц, настуран), карбонаты (доломит, родохрозит, сидерит, кальцит), хлориты (существенно железистые), ферриаты (магнетит). Кроме этих минералов, в значительно меньших количествах встречаются различные арсениды никеля и кобальта, самородное серебро, висмут и мышьяк. Сульфиды встречаются редко и в совершенно подчиненных количествах. По условиям образования жилки с настураном, повидимому, всегда относятся к мезоэпитермальным.

Постоянными спутниками настурана во всех месторождениях

являются лишь кварц и один из кислородсодержащих минералов железа.

Таким образом, урановое оруденение, повидимому, характеризуется ведущей ролью кислорода, железа, магния и кремния или кремния и углекислоты и подчиненной ролью серы по сравнению с железом.

Мышьяк, серебро, висмут, никель, кобальт и марганец могут сопровождать, а могут и не сопровождать урановое оруденение.

Любопытно, что весь гидротермальный цикл, частью которого является урановый этап, характеризуется, помимо наличия других химических элементов, обязательным присутствием всех химических элементов, перечисленных для уранового этапа. Естественно, что перечисленные химические элементы на различных этапах цикла могут входить в разнообразные соединения — минералы, а также входить в состав ряда минералов в качестве различных примесей. Соотношения химических элементов на отдельных этапах могут варьировать, включая, например, преобладание серы над железом.

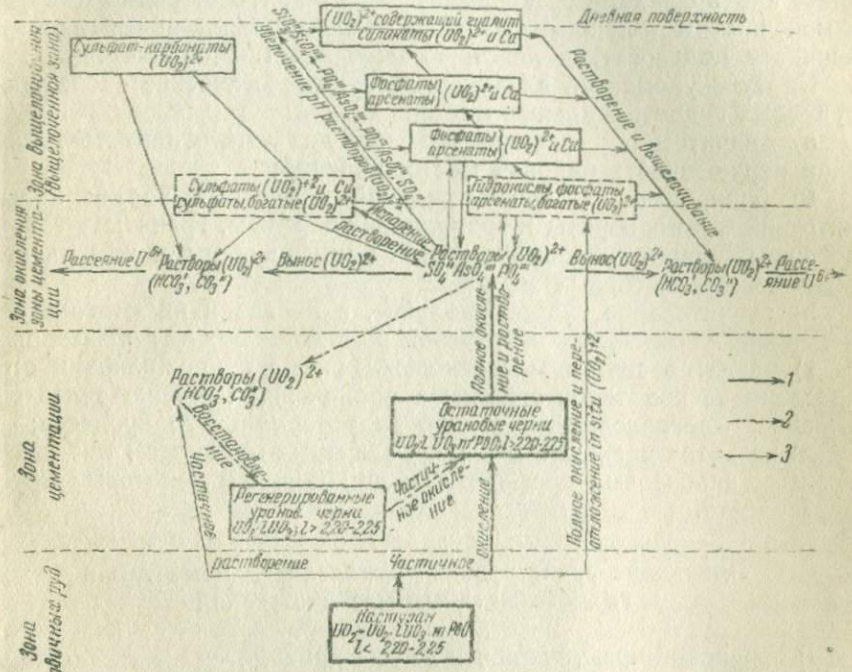
Поэтому перечислить характерные широкие парагенетические ассоциации минералов, сопровождающих урановое оруденение, более затруднительно, чем указать на ассоциацию более благоприятных и менее благоприятных для нахождения урана химических элементов. Необходимо указать, что для поисков урана пока неясным остается значение таких химических элементов, как азот, молибден, олово, золото, фтор, алюминий.

Относительно перечисленной выше ассоциации химических элементов следует заметить, что она, повидимому, может служить одним из благоприятных признаков как при оценке определенного рудного поля, на котором она проявляется, так и при оценке какой-то области, на территории которой встречается вся ассоциация в виде относительно обособленных групп химических элементов, входящих в ее состав и относящихся, естественно, к единой эпохе минералообразования. Таким образом, уран, повидимому, выносится кремнекислыми или кремнекислыми-углекислыми гидротермальными растворами, в большинстве случаев богатыми железом, бедными серой (сульфидной) и содержащими обычно значительные количества мышьяка. Из других химических элементов, находящихся в этих растворах, известны серебро, аналог мышьяка — висмут и изоморфные аналоги железа — марганец, магний, кобальт, никель.

Факт почти постоянного сопровождения урана в гидротермальных месторождениях железом (гематит, магнетит, тюрингит и др., постоянные примеси Fe_2O_3 в настуране) и выпадения урана из гидротермальных растворов в виде коллоида легко объяснить, если предположить, что уран выносится гидротермальными растворами в шестивалентном состоянии, в котором образует ряд хорошо растворимых соединений. Поддерживать уран в этом состоянии при pH гидротермального раствора не выше 7 лучше всего

может двухвалентное железо. Повышение pH гидротермального раствора при его подъеме в верхние части земной коры должно привести к переводу U^{6+} в U^{4+} за счет перехода Fe^{2+} и Fe^{3+}. Образующийся при этом U^{4+} неизбежно гидролизуется и выпадает в виде геля $U(OH)_4$.

Предположение о выносе гидротермальным раствором урана в шестивалентном состоянии можно подкрепить еще следующими наблюдениями:



Геохимия урана в зонах супергенеза гидротермальных месторождений.

1—основное направление разрушения настурана; 2—малый круговорот урана; 3—второстепенные превращения.

а) В настуранах отсутствуют заметные количества тория — химического элемента, изоморфного с четырехвалентным ураном.

б) При отложении настурана в магнетитах Шмидеберга происходит мартитизация, т. е. окисление железа ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$).

в) В присутствии углекислоты и воды уран устойчив только в шестивалентном состоянии.

г) Соединения четырехвалентного урана трудно растворимы.

После отложения настурана ($kUO_2 \cdot lUO_3$) и до того момента, когда он подвергнется воздействию поверхностных вод, проходит какое-то время, в течение которого происходит неизбежно радиоактивный распад урана. Этот процесс влечет за собой накопление

в настуране всех радиоактивных элементов семейства урана, а также свинца и гелия, относительное накопление освобождающегося кислорода, повышающего величину отношения $UO_3 : UO_2$ или точнее величину кислородного коэфициента[1].

Настуран по изложенным выше причинам приобретает состав $k'UO_2 \cdot l'UO_3 \cdot mPbO$. На помещенной на предыдущей странице фигуре этот процесс указан стрелкой (клетка настурана). С течением времени настурановый гель раскристаллизовывается, сохраняя однако, как правило, морфологию геля, и, наконец, радиохимически измененный и в какой-то степени раскристаллизованный настуран начинает подвергаться действию поверхностных процессов.

Следует упомянуть следующие общегеологические особенности урановых гидротермальных месторождений:

а) значительная трещиноватость и дизъюнктивная тектоническая нарушенность районов месторождений;

б) приуроченность месторождений к краевым частям кислых интрузий (гранодиориты и гранодиорит-порфиры, граниты и гранит-порфиры, кварцевые порфиры) или примыкающим к ним частям вмещающих их горных пород;

в) значительное гидротермальное, а иногда и пневматолитовое изменение упомянутых интрузивов и вмещающих их горных пород;

г) развитие систем многочисленных жил и прожилков и относительно тесное территориальное проявление (нередко телескопирование) многочисленных стадий гидротермального процесса;

д) развитие даек, как кислых (различных порфиров), так и основных (диабазовые порфириты и др.) пород и некоторые другие особенности.

Поведение урана в зонах окисления и цементации гидротермальных месторождений

В поисковой практике почти всегда приходится иметь дело с нарушенной процессами окисления первичной ассоциацией минералов, которые иногда совершенно изменены.

В этих случаях исключительное значение приобретает изучение, правда, очень нелегкое и кропотливое, минералов зон окисления, по которым можно восстановить первичную ассоциацию химических элементов месторождения, а иногда и часть первичных минералов.

Кроме того, большое значение приобретает знание закономерностей поведения урана, радия, иония в приповерхностных частях эндогенных месторождений.

На значительной глубине относительно зеркала грунтовых вод начинается процесс окисления UO_2 в UO_3 (U_3O_8) и выщелачивание урана, сопровождающееся дезинтеграцией настурана и образованием остаточных урановых черней. По мере приближения к зер-

[1] Выделяющаяся при радиоактивном распаде энергия не рассматривается.

калу грунтовых вод этот процесс усиливается. В области колебания верхнего зеркала грунтовых вод настураны (при нормальном развитии процесса) уже не существуют, остаточные урановые черни встречаются редко и практически почти не содержат UO_2.

В нижних частях зоны супергенеза (зона цементации) под влиянием бикарбонатных вод происходит лишь частичное окисление настурана. Процесс протекает сравнительно медленно и приводит к частичному разрушению минерала.

В верхних частях зоны супергенеза (зона окисления) настуран за счет окисления окружающих его сульфидов попадает под влияние кислых растворов, содержащих главным образом ионы SO_4^{2-} и в меньшей степени AsO_4^{3-}. Воздействие этих ионов на настуран приводит к образованию вместо него сульфатов U^6, Ra, Pb, в значительно меньшей степени арсенатов и к высвобождению гелия. Остальные элементы, которые могут присутствовать в настуране, мы оставляем без рассмотрения.

По мере образования сульфатов и арсенатов урана, они, как легко растворимые, выносятся, а сульфаты радия и свинца могут, повидимому, накапливаться или сорбироваться в непосредственной близости.

Так как количество сульфидов всегда несравнимо больше количества настурана, то количество и концентрация ионов SO_4^{2-} бывают достаточными, чтобы совершенно разрушить настуран.

Следует рассмотреть судьбу урана и его минералов на различных стадиях процесса превращения вещества настурана в сульфаты. Тут возможны три случая:

а) разрушение настурана и вынос урана (растворенный уран);

б) образование остаточных урановых черней (остаточный уран);

в) возникновение на настуране вторичных урановых минералов (уран, переотложенный на месте).

Вынос урана. Совершается преимущественно в форме сернокислых солей $(UO_2)^{2+}$, т. е. хорошо растворимых в воде соединений урана, а также в форме растворимых при pH<7 солей ортомышьяковой кислоты. Ортофосфорная кислота, ввиду ее малых относительных количеств, во внимание пока не принимается.

Значительная часть растворенного сульфата уранила, повидимому, выносится грунтовыми водами за пределы месторождения. По пути она превращается в более разбавленные растворы сульфат-карбоната, бикарбоната или карбоната уранила. На фигуре (см. выше) это изображено толстой стрелкой от клетки остаточных урановых черней.

Другая часть растворенного сульфата уранила опускается ниже верхнего уровня грунтовых вод. По пути сульфатные растворы метаморфизуются в сульфат-карбонатные, карбонатные или бикарбонатные растворы уранила. В восстановительной среде зоны цементации (pH>7), при взаимодействии с некоторыми минералами (анкерит, сидерит, повидимому, некоторые сульфиды и др.), проис-

ходит восстановление находящейся в растворе окиси урана UO_3 до черной нерастворимой закись-окиси. Образуется, как ее принято называть, регенерированная урановая чернь, имеющая, повидимому, постоянный химический состав (UO_3 : UO_2) для каждого геолого-минералогического горизонта. Этот процесс при стабильности базиса эрозии создает зону вторичного уранового обогащения его кислородными соединениями. Регенерированная урановая чернь может образоваться не только из нисходящих растворов, но и из растворов $(UO_2)^{2+}$, образовавшихся в более глубоких частях зоны цементации и не устойчивых там (потеки регенерированной урановой черни около жилок разрушающегося настурана). При понижении базиса эрозии регенерированная урановая чернь разрушается и исчезает по законам разрушения настурана. Таким образом, в пределах месторождения совершаются следующие переходы: настуран $(U^{4+}+U^{6+})\rightarrow$ растворы $U^{6+}\rightarrow$ регенерированная чернь $(U^{4+}+U^{6+})$ урановая $\rightarrow$ растворы U^{6+}, т. е. своеобразный малый круговорот урана, сущность которого заключается в переходе $U^4 \rightarrow U^{6+} \rightarrow U^4$.

Этот малый круговорот урана совершается с большой потерей участвующей массы урана, за счет выноса урана при изменении регенерированных черней. На фигуре (см. выше) он изображен пунктирными линиями. Факторами, определяющими этот круговорот урана, являются окислительные и восстановительных по отношению к урану процессы.

И, наконец, третья часть растворенного урана, повидимому, самая маленькая по своей массе, при благоприятных условиях, в частности благодаря молодым тектоническим нарушениям и резкому понижению базиса эрозии, может остаться в зоне, расположенной выше верхнего уровня грунтовых вод. Но и эта часть в конечном итоге через сложные фазовые превращения (образование минералов, их замещение другими минералами, многочисленные регенерации минералов и разрушение их) может уйти за пределы месторождения — рассеяться. Остановимся несколько подробнее на судьбе третьей части растворенного урана.

При циркуляции обогащенные сернокислым уранилом растворы в случае их быстрого испарения откладывают уран в форме различных, обычно хорошо растворимых водных урановых сульфатов. Это легко осуществляется в горных выработках, стенки которых представляют собой большую поверхность для испарения. Сульфаты уранила наблюдаются только в самой непосредственной близости от настуранов и урановых черней. Вообще сульфаты уранила очень неустойчивы. В тех местах, где есть хотя бы следы влажности, они растворяются или, вернее, не могут образоваться.

Сульфатные растворы непосредственно в зоне реакции окисления, как правило, имеют кислую реакцию. Растворы, циркулирующие несколько в удалении от верхов окисляющихся сульфидов, за счет растворения встречающегося материала становятся все более усредненными и менее сульфатными, а у самой дневной

поверхности нередко приобретают даже щелочной характер. Этими факторами (величиной pH) в силу закона действия масс определяется образование и устойчивое существование тех или иных минералов.

В области непосредственного и энергичного окисления, воды которой характеризуются очень высоким содержанием иона SO_4^{2-} (при нормальном развитии зоны окисления), существование урановых минералов как первичных (настуран), так и вторичных (урановые черни, слюдки и пр.), невозможно вследствие их легкой растворимости в такого рода водах. Таким образом, непосредственно над окисляющимися сульфидами возникает область, в которой урановые минералы отсутствуют (пустая зона), и только, как указывалось, при очень благоприятных, повидимому, искусственных условиях (создание больших поверхностей испарения) часть урана может быть временно отложена в форме сульфатов, а также гидроокислов, арсенатов и фосфатов , богатых ураном.

Выделения этих многочисленных и разнообразных минералов известны преимущественно на стенках горных выработок, которые прошли в подзоне окисления зоны вторичного сульфидного обогащения. Интересно, что количество вторичных минералов и их разнообразие увеличиваются с течением времени. По сульфатам, например, возникают сульфат-карбонаты. Во многих случаях сульфаты, арсенаты и фосфаты урана начинают непосредственно замещать остаточную урановую чернь.

Растворы, циркулирующие несколько в удалении от верхов окисляющихся сульфидов, за счет растворения встречающегося материала становятся все более усредненными и менее сульфатными в сравнении с растворами, находящимися в непосредственной близости к окисляющимся сульфидам. У самой дневной поверхности они, как известно, нередко имеют даже щелочной характер.

В условиях слабой или нейтральной кислотности образуются и оказываются устойчивыми урановые слюдки. Таким образом, над пустой зоной возникает мощная зона урановых слюдок. В щелочных условиях становится подвижным (переходит в раствор) кремнезем, который может выпадать в виде опала, халцедона или силикатов, как только щелочность среды начинает понижаться. В таких условиях возникают, повидимому, силикаты урана (уранофан) и урансодержащие гиалиты.

В соответствии с удаленностью от окисляющихся сульфидных жил действующие массы ионов изменяются. Действующая масса ионов AsO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Cu^{2+} (источником которых являются сульфидные жилы) понижается, и соответственно действующая масса ионов PO_4^{3-}, Ca^{2+} (источником которых являются выветривающиеся силикаты) увеличивается.

В соответствии со сказанным ближе к сульфидным жилам образуются — и они здесь устойчивы — цейнериты, а дальше от

них — последовательно торберниты, ураноспиниты и отениты, урансодержащие гиалиты и уранофаны.

Отенит и ураноспинит образуются и устойчивы лишь в тех случаях, когда действующая масса иона SO_4^{2-} очень невелика, так как в противном случае будет скорее выпадать гипс, чем упомянутые урановые минералы.

В заключение следует подчеркнуть, что исторически процесс формирования наблюдаемой современной вертикальной зональности в распределении вторичных урановых минералов, естественно, происходит в направлении от дневной поверхности вниз. Больше того, при понижении уровня грунтовых вод, при углублении железной шляпы, при искусственном снижении уровня грунтовых вод (дренаж штолен) происходит смещение упомянутых зон вниз. В таких случаях мы находим замещение отенитом торбернита, мышьяка фосфором (смешанные слюдки) и т. д.

На фигуре (см. выше) все изложенное изображено в виде ступенчато расположенных клеток, соответствующих последовательным зонам снизу вверх. Стрелками показан основной процесс перехода одних минералов в другие путем непосредственного замещения, а также и иные пути образования и разрушения минералов, в частности осаждение из растворов и растворение.

Образование остаточных урановых черней. Действие на настуран сложных сернокислых, мышьяковокислых и фосфорнокислых растворов разной концентрации и в течение различного времени приводит к растворению и выщелачиванию из него урана, разрушению, разрыхлению настурана, превращению содержащегося в нем U^{4+} в U^{6+}. В пределе этот процесс приводит к полному выносу урана, к полному разрушению настурана. Таким образом возникают пустоты выщелачивания. Эти растворы, помимо выщелачивания урана, привносят в разрушаемый настуран ряд сульфатов, фосфатов, арсенатов меди, железа, кальция и железа.

Таким образом, остатки разрушающегося настурана (урановые черни) приобретают очень сложный и качественно многообразный химический состав.

Возникновение вторичных урановых минералов. В тех случаях, когда на настуран действует один из растворителей (H_2SO_4, H_3AsO_4 и т. д.) и pH реагирующего раствора немного ниже 7 или имеются условия для испарения раствора, на настуране образуется как продукты реакций, целый ряд урановых минералов. При действии, например, H_3AsO_4 образуются трегерит и желтовато-белая слюдка, при действии H_2SO_4 могут образоваться желто-оранжевые и зеленые сульфаты уранила (иоганнит, ураконит, циппеит и др.), при действии H_3PO_4 возникает фосфуранилит и т. д. Кроме того, имеют место, повидимому, реакции гидролиза, приводящие к образованию гидроокислов урана.

Резюмируя все изложенное, можно сказать, что уран из своих первоначальных кислородных соединений (настураны) под влиянием поверхностных процессов в большей своей части переходит

легко подвижные растворимые) в водной среде (при отсутствии ионов AsO_4^{3-}, PO_4^{3-}) сернокислые, сернокислые-углекислые и углекислые соединения U^{6+}. В кислой среде уран становится подвижным также и в присутствии ионов AsO_4^{3-} и PO_4^{3-}. В основном в форме ураниловых соединений уран мигрирует. В этой форме, во-первых, уран может выноситься током грунтовых вод далеко за пределы месторождения (рассеиваться). Во-вторых, уран может опускаться в зону цементации, накапливаться там в форме кислородных соединений и сохраняться до того момента, пока не начнется естественное или искусственное понижение базиса эрозии. В-третьих, в небольших количествах, при стечении благоприятных обстоятельств (быстрое испарение, тектонические нарушения и т. д.), уран может оставаться в пределах железной шляпы месторождения и временно фиксироваться в виде фосфатов, арсенатов и силикатов уранила или в виде примеси к другим минералам (*опал и пр.*).

При усреднении растворов, очень богатых ураном (вблизи от настуранов и черней), или их испарении образуются главным образом богатые уранилом минералы (трегериты, фосфуранилиты, гидроокислы, циппеиты, уранопилиты и т. д.). При относительном обеднении растворов ураном, обогащении другими основаниями, понижении кислотности и резком уменьшении сульфатности растворов могут образоваться уранил-медные арсенаты и фосфаты (цейнериты, торберниты). При дальнейшем обеднении медью и мышьяком и обогащении фосфором и кальцием начинают отлагаться уранил-кальциевые фосфаты и реже арсенаты (отенит, ураноспинит). У самой поверхности кальциево-фосфатные соединения урана сменяются кремнекислыми (уранофан, урансодержащий гиалит).

Вся динамика разобранного процесса (понижение кислотности растворов) в идеальном случае зависит от степени удаленности растворов от сульфидных жил.

Кратко изложенное представление о геохимии урана в зонах супергенеза гидротермальных месторождений основывается на фактических наблюдениях природных явлений непосредственно на рудниках в течение более чем 12 лет, а также на результатах экспериментальных исследований. В лаборатории удалось осуществить и изучить переходы настурана в остаточную урановую чернь, получить искусственную регенерированную урановую чернь и искусственные аналоги урановых слюдок и сульфатов, выяснить законы их образования, наблюдать замещения оснований и кислотных остатков в урановых слюдках, получить урановые слюдки смешанного состава.

Экспериментально недостаточно широко остался изученным процесс регенерации урановых черней. Это большая и новая область, изучение которой является ближайшей задачей.

При супергенном разрушении настурана судьба накопившегося в нем радия, как показали предварительные данные по ра-

диохимическому изучению черней, будет различной в зоне окисления и в зоне цементации. В первой он накапливается на месте разрушающегося настурана, во второй, напротив, его относительные количества уменьшаются.

Поведение урана в осадочном процессе

Накопление урана в осадочных формациях изучено еще сравнительно очень слабо и представления о генезисе такого рода накоплений, носят дискуссионный характер. Несмотря на это, некоторые общие геохимические закономерности урана, установленные в зонах супергенеза гидротермальных месторождений, позволяют подойти к разрешению и вопроса о причинах концентрации урана в осадочных формациях. Отличительной особенностью подавляющего большинства осадочных отложений, обогащенных ураном, является одновременное наличие в них органических веществ битумного или гумусового ряда.

Это обстоятельство всегда привлекало к себе внимание и нередко служило отправным моментом при суждениях о причинах концентрации урана именно в связи с органическим веществом.

В. И. Вернадский писал: «Концентрация урана органическими веществами — единственный факт накопления урана из всех известных процессов в зоне выветривания, приводящих, как правило, к его рассеянию» («Очерки геохимии». 1937). Установление процесса концентрации урана в зоне цементации при отсутствии органических веществ и законов такой концентрации позволяет дать одно из объяснений причин «концентрации урана органическими веществами».

Все изложенные выше минералого-геохимические наблюдения в полном соответствии с экспериментальными исследованиями свидетельствуют о том, что уран весьма чувствителен к изменению физико-химических (в первую очередь окислительно-восстановительных) условий среды.

При pH среды выше 7 уран устойчив только в шестивалентном состоянии, образуя хорошо растворимые соединения. При нейтрализации растворов он может частично выпадать в виде фосфатов, арсенатов, силикатов уранила, а при испарении растворов — в виде сульфатов и, возможно, сульфат-карбонатов.

При pH среды ниже 7 уран выпадает и устойчив лишь в виде соединений типа $k\,UO_2 \cdot l\,UO_3$, причем степень окисленности этих соединений, т. е. величина отношения $UO_3 : UO_2$ или величина кислородного коэфициента зависит от окислительно-восстановительного потенциала среды. С увеличением окислительного потенциала возрастает величина кислородного коэфициента, что приводит к увеличению растворимости разбираемых соединений.

Многообразные соединения собственно U^{6+} в твердом виде могут встречаться лишь в практически безводной обстановке или в обстановке, которая характеризуется чрезвычайно кратковре-

менными периодами овлажнения. В условиях постоянной влажности или обводненности эти вещества неустойчивы вследствие стремления U^{6+} перейти в раствор. Последнее выражается или в непосредственном растворении ураниловых минералов или в замещении уранила другими основаниями. И только незначительные количества U^{6+} в этих условиях могут более продолжительное время *находиться в твердой фазе, если они попадают* (в виде примеси) в сравнительно устойчивые в химическом отношении минералы типа опала и др.

Таким образом, в окислительных условиях коры выветривания ураниловые минералы приходится считать временными формами существования U^{6+}. Здесь также протекают процессы, окислительные по отношению к U^{4+} ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$; $H_2O + CO_2$ и др.).

В восстановительных условиях коры выветривания продолжительно устойчивыми, даже в обстановке влажности или обводненности, оказываются лишь соединения типа $kUO_2 \cdot lUO_3$, а неустойчивыми — любые собственно ураниловые соединения $(UO_2)^{2+}$ как в твердой, так и в жидкой фазе. Здесь протекают восстановительные процессы по отношению к U^{6+} ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$; $HS^{1-} + (OH)^{1-} \rightarrow S + H_2O$; $H_2 + 2(OH)^{1-} \rightarrow 2H_2O$; некоторые органические соединения *и др.*).

Следовательно, можно прийти к заключению, что процессы, благоприятствующие переходу U^{4+} в U^{6+}, являются процессами рассеяния урана, а процессы, благоприятствующие хотя бы частичному переходу U^{6+} в U^{4+}, являются процессами концентрации урана.

В общем случае первые процессы широко распространены в зоне окисления, в зоне движущихся вод, а вторые процессы — в зоне цементации, в зоне застойных вод. Сказанное хорошо иллюстрируется на вертикальных разрезах ряда гидротермальных месторождений.

Нетрудно представить себе, что процессы концентрации урана могут происходить и в других участках коры выветривания.

Так, процессы концентрации урана могут происходить, например, *в периодически застойных* (в течение того или иного промежутка времени) сточных наземных бассейнах (озера и т. п.) при условии, если pH в них выше 7 и имеются указанные выше восстановители урана. Такая обстановка обычно связана с наличием метаморфизующихся органических остатков, которые дают начало целому ряду органических соединений, сероводороду, водороду и могут поддерживать железо в двухвалентном состоянии. *Уран, образующий в этих условиях нерастворимое соединение* $kUO_2 \cdot lUO_3$ (урановую чернь), осаждается в этой форме вместе с тонкоилистым материалом карбонатного или алюмосиликатного состава только в пределах контуров восстановительного очага. В таком виде он может сохраняться в осадке в течение всего времени диагенеза осадка, существования осадка уже в виде горной породы и т. д., пока принципиально не будут нарушены

приведшие к осаждению урана окислительно-восстановительные условия.

По мере погружения пелитоморфного карбонатного осадка любой мощности под толщу более молодых отложений происходит перекристаллизация карбоната, сопровождающаяся, как и всякая перекристаллизация, очищением его от тончайших некарбонатных примесей, в том числе и от примесей урановой черни. Таким путем образуются локализованные участки повышенных концентраций урановой черни.

При аналогичном погружении глинистого осадка происходит лишь того или иного масштаба рассланцевание, и ожидать перераспределения рассеянной урановой черни нет оснований.

Сформировавшаяся урановосная горная порода, в общем равномерная, не имеет внешних маркирующих признаков, указывающих на наличие в ней урана, так как цвет урановой черни (серый, черный) и цвет горной породы, находящейся все время в восстановительных условиях (серый, зеленовато- или голубовато-серый), одинаков и количество урановой черни относительно невелико.

Описанные условия концентрации урана, предохраняющие соединение $k\,UO_2 \cdot l\,UO_3$ от перехода в соединение $(UO_2)^{2+}$, напоминают условия, которые принято считать благоприятными для превращения органических остатков в углеводороды. Отсюда, между прочим, следует, что повышенная радиоактивность осадочной толщи, имеющей общий серый цвет, или, точнее, ее повышенная урановосность может служить признаком того, что при формировании этой толщи в ней происходили процессы, благоприятствующие превращению органического вещества в углеводороды. Это положение подтверждается нахождением урановых минералов в горизонтах, которые в ряде случаев принимаются геологами за нефтеобразующие.

Если осадок или горная порода окажутся в условиях $pH < 7$ (для горной породы, например, приближение к дневной поверхности), немедленно должен начаться переход $k\,UO_2 \cdot l\,UO_3$ в $(UO_2)^{2+}$, т. е. окисление, растворение и вынос урана или иначе его рассеяние. Иными словами, начнут действовать упомянутые выше для зоны окисления гидротермальных месторождений законы геохимии U^{6+}. Разница в данном случае будет заключаться лишь в том, что временными твердыми фазами будут преимущественно уранил-ванадаты, иногда уранил-сульфат-карбонаты и в очень малых количествах уранил-фосфаты.

Этот процесс окисления U^{4+} легче осуществляется в известняках и известковистых песчаниках благодаря их пористости и вторичной трещиноватости и значительно труднее — в глинистых сланцах.

В глинистых породах, повидимому, благодаря большому рассеянию в них урана и более затрудненной при отсутствии трещин циркуляции растворов, образование ярко выраженных вторичных ураниловых минералов затруднено. Здесь образуются вторичные

минералы с примесью урана-вивианит, палыгорскит и др., хотя не исключена также возможность образования минералов типа шрекингерита в виде мелких выделений. По всем этим причинам в ураноносных глинистых породах нет даже и в зоне окисления легко видимых признаков, указывающих на присутствие урана.

Таким образом, описанный способ концентрации урана, повидимому, приводит к образованию ураноносных битуминозных глин и глинистых сланцев, а также кремнисто-углистых сланцев, в которых так называемые углистые частицы рассматриваются как пиробитумы. Описанный путь рассеяния возникших в осадочных формациях концентраций урана, повидимому, приводит к образованию в качестве временного явления рудных тел (пластообразной и линзообразной формы), с выделениями карнотитов и тюямунитов.

Другими конкретными участками коры выветривания, в которых можно предположить осуществление реакции восстановления, являются участки с практически застойными подземными водами (синклинальные и мульдообразные прогибы толщ с водоносными и, следовательно, порозными горизонтами и т. д.).

Восстанавливающими в этом случае веществами, если воды не имеют кислой реакции, могут быть, например, H_2S и органические соединения, которые ореолом окружают расположенную где-то более глубоко или в стороне нефтяную залежь. Вполне вероятна и в этом случае восстановительная роль Fe^{2+}, которое может находиться в хлоритах и других минералах, не устойчивых в присутствии углекислоты.

Восстановительная роль углеводородного ореола рассеяния около нефтяных залежей установлена геолого-минералогическими наблюдениями для S^{VI} ($CaSO_4 + CH_4 \gtrless H_2S + CaCO_3 + H_2O$).

Таким путем, повидимому, образуются над нефтяными залежами ореолы вторичного кальцита, сероводорода, пирита, а также при окислении сероводорода шапки самородной серы.

К сожалению, вследствие того, что в упомянутых углеводородных ореолах рассеяния не бывает смолистых групп, своим бурым цветом обращающих на себя внимание, вопрос о наличии углеводородов в толщах с уранил-ванадатами до сих пор не исследовался. Совершенно очевидно, что в этих районах необходима организация таких исследований и в первую очередь люминесцентно-битуминологических. В связи с этим интересно заметить, что, например, в белоснежных бентонитах, в которых известны включения уранил-ванадатов, люминесцентно-битуминологическими исследованиями устанавливается значительное содержание легких бесцветных углеводородов.

Предполагая возможность разбираемого способа концентрации урана, в настоящее время трудно объяснить пути концентрации ванадия, не говоря уже о том, что для нас остается скрытым гидрогеологическое прошлое той области, из которой он выносился.

Резюмируя все изложенное относительно геохимии урана, можно сказать, что общая схема круговорота урана сводится к окислению U^{4+} → переносу U^{6+} → восстановлению U^{6+} → концентрации U^{4+} и т. д. Этот большой круговорот урана осложняется рядом малых круговоротов (известно два), построенных по той же схеме.

Некоторые поисковые критерии

Выше упоминалось, что поиски гидротермальных месторождений урана, особенно в тех климатических, геоморфологических и гидрогеологических условиях, которые благоприятствуют химическому разрушению весьма непрочных в этом отношении первичных минералов урана (настурана), сводятся к умению выявить и распознать признаки урана в зонах окисления.

Вышеизложенные закономерности позволяют наметить некоторый комплекс поисковых критериев, которые могут быть отнесены к прямым поисковым признакам и которые, как показывает опыт, в ряде конкретных случаев себя вполне оправдали.

1. В окисленной зоне месторождений, в частности в относительно хорошо проработанных железных шляпах, нельзя встретить настуран или урановые черни. Другие вторичные урановые минералы представлены здесь также весьма скудно и притом в выделениях таких мелких размеров, которые могут остаться незамеченными.

Вторичные урановые минералы нужно настойчиво искать. Решение этой задачи чрезвычайно облегчает люминесцентный анализ, разработанный и примененный за последние годы для поисков урановых минералов непосредственно в полевых условиях Дейком и Дементом, З. М. Свердловым, В. Г. Мелковым и др.

2. Находки даже небольших выделений урановых слюдок в железной шляпе типичного гидротермального месторождения в сочетании с другими геологическими, минералогическими и геохимическими предпосылками, несомненно, должны указывать на присутствие в не измененных вторичными процессами частях жил настурана. Однако при самых благоприятных условиях вероятность встретить эти выделения непосредственно на дневной поверхности чрезвычайно мала.

Тот факт, что при окислении первичных гидротермальных минералов уран переходит в раствор, а вторичные его минералы тоже неустойчивы, позволяет предположить, что уран в тех или иных количествах, даже самых ничтожных, должен быть захвачен в виде примеси образующимися супергенными не урановыми минералами.

Как показали исследования, минералом, способным к захвату урана в условиях железной шляпы, является опал (гиалит). Урансодержащий гиалит прекрасно и просто диагностируется в ультрафиолетовых лучах (яркая желто-зеленая люминесценция) с

помощью солнечного люминоскопа. Таким путем можно обнаружить наличие в гиалите урана при содержаниях последнего 10^{-4} % и ниже.

Гиалиты в условиях железной шляпы химически и механически значительно более устойчивы, чем, например, урановые слюдки, и поэтому в течение продолжительного времени могут использоваться в качестве признака, указывающего на бывшую ранее циркуляцию урана в железной шляпе, а следовательно и на его наличие в месторождении. По наблюдениям автора, на поверхности окисленных частей всех гидротермальных урановых месторождений, в непосредственной близости зон с проявлениями гидротермальной деятельности, можно всегда без особого труда найти урансодержащие гиалиты. Поиски же в этих условиях урановых слюдок требуют гораздо больше труда, времени и умения, да и не всегда приводят к желательным результатам.

Поэтому можно рекомендовать урансодержащие гиалиты, как прямой признак, определенно указывающий на то, что при формировании той или иной зоны окисления гидротермального месторождения, в которой они найдены, циркулировали растворы, разрушавшие повышенные концентрации первичного урана. Использование урансодержащего гиалита в качестве поискового признака позволило уже на практике обратить внимание на ряд железных шляп, в которых никакими другими признаками не было обнаружено наличие урана. Если учесть, что кремнезем становится подвижным в щелочных растворах, которые могут возникать лишь вблизи от дневной поверхности или во всяком случае на значительном расстоянии от разрушающихся гидротермальных жил с сульфидами, и что уран в основной своей массе выносится из месторождения в сульфатную, т. е. более раннюю стадию формирования железной шляпы, то, повидимому, можно предполагать, что образование больших количеств урансодержащих гиалитов и наличие значительных содержаний в них урана должны указывать на значительные количества разрушавшихся первичных минералов урана.

Результаты специальных работ по выяснению закономерностей распространения урансодержащих гиалитов на поверхности железных шляп урановых гидротермальных месторождений, поставленных в связи с обнаружившимися поисковыми возможностями гиалитов, показали, что:

а) урансодержащие гиалиты образуют ореол вокруг окисленных частей гидротермальных жил с настураном;

б) содержание в них урана уменьшается в направлении от жил к периферии;

в) на далекой периферии (несколько десятков метров) урансодержащие гиалиты сменяются гиалитами без признаков урана (не люминесцирующими гиалитами).

Указанные наблюдения подтверждают поисковое значение находок урансодержащих гиалитов в зонах окисления гидротер-

циальных месторождений и даже позволяют подойти к решению вопроса о центрах первичного уранового оруденения.

Установление закономерностей распространения урансодержащих гиалитов позволяет рекомендовать в поисковых целях площадные исследования поверхности перспективных участков с помощью непосредственного облучения их ультрафиолетовыми лучами в ночное время, не прибегая к отброу образцов.

Дальнейшие исследования в намеченном направлении, несомненно, могут привести к открытию других, кроме опала, устойчивых минералов —индикаторов уранового оруденения.

3. Для урановых вторичных соединений, развивающихся в зоне супергенных процессов, характерно закономерное вертикально-зональное распределение, подчиненное общему вертикально-зональному изменению физико-химических условий в верхних частях месторождения, доступных супергенным процессам. Эти зоны следующие (сверху вниз): отенитовая, торбернито-цейнеритовая, зона отсутствия урановых минералов (пустая), зоны богатых кислородом и бедных кислородом урановых черней.

Известные гидротермальные месторождения отчетливо показывают, что вторичные черные кислородные соединения урана (различные урановые черни) являются самыми убедительными поисковыми признаками наличия в месторождении гидротермального урана. Останцы гидротермальных минералов (настурана) могут быть, как правило, встречены лишь в зоне цементации, в то время как остальные вторичные урановые минералы, особенно урановые слюдки и силикаты урана, напротив, характерны лишь для зоны окисления. Эти две группы вторичных минералов в идеальном случае очень резко разделены в пространстве одна от другой.

Упомянутая зональность является следствием процесса химического выветривания, развиваясь сверху вниз, т. е. от дневной поверхности, и носит не статический, а динамический характер. И поскольку химическое выветривание является сложной функцией климата, общегеологической обстановки, рельефа местности и т. д. и всегда сопровождается эрозионными процессами, постольку мы должны встречать урановые гидротермальные месторождения на дневной поверхности в той или иной степени разрушенными и представленными либо какой-нибудь одной из характерных зон окисления, либо зоной первичных руд, либо зоной, в которой вторичные урановые минералы вообще не могут развиваться. В таком положении окажутся месторождения, зона окисления которых относительно кислотна. Размеры ее будут определяться рельефом, положением грунтовых вод, массой сульфидов и пр. При резко всхолмленном рельефе она, естественно, должна быть более мощной.

4. Зона окисления характеризуется относительной неподвижностью радия (иония), накопившегося в результате радиоактивного распада в первичных урановых минералах. Радий этих минералов, при их разрушении, остается, как упоминалось, в основ-

ном на месте этих минералов или задерживается в непосредственной близости от этих мест. Таким образом, возникают участки резкого смещения радиоактивного равновесия в сторону радия или совсем лишенные урана. Некоторое количество радия (иония), за счет переотложенных урановых минералов, может оказаться рассеянным в зоне окисления и придавать ей общую радиоактивность. Эта радиоактивность будет несколько повышенной по сравнению с радиоактивностью вмещающих горных пород далекой периферии месторождения и иметь значительно меньшую величину по сравнению с радиоактивностью участков зоны окисления, в которых были отложены первичные урановые минералы (настуран).

5. Подземные воды зоны цементации за счет выщелачивания радия и растворения радона (эманации радия) и урана обладают повышенной радиоактивностью. Это, однако, характерно для подземных вод, циркулирующих в узких пределах рудного поля (в горных выработках). Окружающие месторождения источники имеют обычно почти нормальную радиоактивность. Это хорошо увязывается с представлением об относительной неподвижности радия (иония) в зоне окисления и кратковременности существования радона (период полураспада равен 3,825 дня).

6. В нижних частях зоны окисления, вблизи от зоны цементации, на стенках горных выработок и других полостей, при наличии на глубине урана, появляются желтые и зеленые сульфаты уранила.

Все перечисленные выше поисковые критерии установлены в итоге изучения минералогии и геохимии урана некоторых гидротермальных месторождений сравнительно с другими известными месторождениями. Можно, повидимому, считать их прямыми поисковыми признаками гидротермальных месторождений урана.

Намеченный комплекс поисковых признаков, особенно в отношении железных шляп, позволяет решать лишь одну часть задачи — качественно установить наличие урана.

В настоящее время невозможна еще точная количественная интерпретация этих признаков или, иначе говоря, по поверхностным признакам не могут быть точно определены масштабы оруденения. Решение этой задачи является делом будущего, когда будут изучены все зоны двух-трех месторождений. Следует учесть, что необходимый в этом отношении зарубежный опыт отсутствует и мы вынуждены накапливать его самостоятельно. Вслед за обнаружением урана в окисленной зоне необходимо смелее разведывать зоны цементации и более глубокие зоны.

Поисковые признаки урана в железных шляпах имеют значение для районов, климатические и другие условия в которых приводят к формированию этих шляп.

Как показывает, например, опыт работ в Канаде, т. е. в условиях Заполярья, а также, возможно, в условиях больших высот, где химическое выветривание протекает весьма слабо, урановая

смоляная руда может обнажаться непосредственно на дневной поверхности, и ее установление сводится к обычной минералогической диагностике вещества.

Руководствуясь намеченным комплексом критериев, автор высказал убеждение о наличии на одном из медно-висмутовых месторождений гидротермальных скоплений урана в виде настуранов и о присутствии в зоне цементации различных урановых черней. Действительно, при специальном посещении этого месторождения автору удалось в течение буквально нескольких часов установить в отвалах и горных выработках наличие остаточных и регенерированных урановых черней и даже настурана, а также разнообразные другие вторичные урановые минералы, замещающие урановые черни — желтые и зеленые сульфаты уранила, различные урановые слюдки (желтые, зеленые, буроватые).

Обнаружить все эти минералы было легко, так как месторождение представляло собой действующий висмутовый рудник, т. е. горными выработками были вскрыты зоны окисления и цементации.

Описываемое медно-висмутовое месторождение приурочено к разлому в кварцевых порфирах, которое прослеживается на расстояние более километра. Оруденение представляет собой мощную зону дробления, насыщенную в основном кварцем, сульфидами, гематитом и хлоритом. Среди сульфидов отмечаются пирит, халькопирит, халькозин, арсенопирит, висмутин и разнообразные другие висмутсодержащие минералы — витихинит, эмплектит, казолит и др. Кроме того, отмечены самородный висмут, серебро, золото.

Вмещающие оруденение кварцевые порфиры интенсивно изменены (хлоритизированы и серицитизированы), а на дневной поверхности они обелены. В месторождении развита зона окисления мощностью 15—25 *м*, в которой установлены малахит, гидроокислы железа, гематит, кварц, остатки сульфидов, висмутит. Вблизи зоны цементации развивается халькантит, встречаются халькозин, ковеллин, борнит, остатки других сульфидов и самородная медь.

Для описываемого месторождения имелись указания о повышенной радиоактивности рудничных вод. В одной из канав были зарегистрированы редкие находки очень мелких отдельных пластинок медной урановой слюдки, а на стенках штольни были обнаружены желтые и зеленые сульфаты уранила, оставшиеся неизученными.

Урановая чернь, найденная на месторождении, встречается в зоне цементации в виде сероватых, пепельных до черных, обычно рыхлых пленок, пропитывающих рудное тело и вмещающие горные породы. Откалывание штуфов при горных работах идет, как правило, по трещинкам, содержащим чернь. Возникающие при дальнейшем раскалывании штуфов обломочки обычно также бывают покрыты чернью. Чернь пачкает руки. Пленки урановой черни настолько тонки, настолько их много и настолько их цвет не отличается от общего зеленовато-серого тона обильно

хлоритизированных рудного тела и вмещающих пород, что на эти пленки в течение ряда лет не обращали внимания.

В разведанной зоне урановая чернь распределяется неравномерно как по простиранию, так и на глубину. Большие ее количества как будто приурочиваются к скоплениям висмутовых минералов. Приповерхностная часть месторождения очень обеднена ураном (урановые минералы встречаются как редкость, содержание урана в пробах ничтожно).

В подзоне окисления зоны цементации урановая чернь замещается сульфатами уранила (иоганнит, различные жёлтые и оранжевые сульфаты), а в более верхних частях — различными слюдками, главным образом буровато-золотистого цвета (типа трегерита). Одновременно замещение и слюдками и сульфатами не наблюдалось.

Настуран, встреченный в образцах из отвалов штольни, имеет вид прожилков до 1—2 *мм* мощности в хлоритизированных кварцевых порфирах, где он ассоциирует с кварцем, гематитом и регенерированной урановой чернью. Он обладает обычными свойствами (смоляной блеск, смоляной черный цвет, хрупкий, излом раковистый, твердость около 5) и весьма напоминает по морфологии настураны других месторождений.

Вторичная урановая зональность на месторождении отчетливо не проявлена в пространстве особенно в отношении желтых и зеленых слюдок. Они встречаются вместе вследствие того, повидимому, что зона окисления очень невелика и в отдельных участках месторождения относительно мало серы.

Некоторые зоны вторичных урановых минералов оказываются как бы телескопированными. Процесс формирования зональности, выясняющийся по наблюдениям за последовательностью образования из черни других вторичных урановых минералов, в общих чертах такой же, как и на других месторождениях.

Сульфаты здесь образуются только за счет черни, а слюдки встречаются и вне черней у самой поверхности месторождения.

Вообще следует заметить ,что описываемое месторождение к моменту его посещения относительно очень давно было уже вскрыто горными выработками, давно, следовательно, в нем был нарушен существовавший физико-химический режим, и наблюдения за урановыми минералами отсутствовали. Поэтому в момент посещения месторождения закономерности в распределении урановых минералов могли быть также уже нарушенными.

О том, что десятка лет достаточно для смещений отдельных зон минералообразования в зоне супергенеза, свидетельствует факт искусственного получения слюдок при взаимодействии разбавленных кислых холодных растворов с кусочками урановой смолки в условиях лаборатории в течение нескольких часов. Сульфаты же уранила появляются на стенках выработок в течение нескольких месяцев после их проходки.

С. А. Горжевская и В. Г. Круглова

ЛЮМИНЕСЦЕНТНО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

В целях изучения поверхности урановых месторождений авторами настоящей статьи была применена люминесцентно-минералогическая съемка, которая в одном из районов дала положительные результаты. В процессе люминесцентно-минералогической съемки были установлены пространственные взаимоотношения вторичных урановых минералов в связи с распределением их на поверхности месторождений, а также выявлено их зональное распределение. Как показала съемка, минералы, наиболее богатые ураном, располагаются в центральных зонах ореолов рассеяния, а к периферии урановосность минералов падает.

Практика работ показала, что может быть два типа люминесцентно-минералогической съемки:

1) крупномасштабная люминесцентно-минералогическая съемка — масштаб 1 : 1000;

2) поисковая люминесцентно-минералогическая съемка—масштаб 1 : 5000.

Крупномасштабную люминесцентно-минералогическую съемку целесообразно вести на известных уже месторождениях, где она помогает выявлять наиболее перспективные участки в рудных зонах и новые пункты оруденения.

Поисковую люминесцентно-минералогическую съемку следует ставить на площадях, где предполагается наличие новых месторождений. В этом случае ее целью является выяснение степени урановосности данного района, а также выявление пространственного распределения вторичных урановых минералов в пределах исследуемой площади.

Данные люминесцентно-минералогической съемки, как оказалось, хорошо увязываются с геологическим строением и структурами месторождений.

Опытные работы позволили установить, что обследованию подлежат участки, где развиты зоны осветленных пород, измененных гидротермальными процессами, приуроченные к крупным

тектоническим нарушениям. Эти участки явились наиболее перспективными, так как к указанным зонам были приурочены поля развития вторичных урановых минералов, вытянутые вдоль простирания рудных разломов. Часто наиболее богатые участки рудных зон были приурочены к сопряжениям двух разломов.

При данной геологической обстановке люминесцентно-минералогическую съемку целесообразно вести методом пересечений вкрест простирания рудных зон или крупных тектонических нарушений. Расстояния между сечениями определяются масштабом съемки.

Крупномасштабная (1 : 1000) люминесцентно-минералогическая съемка диктуется конкретными задачами по выявлению перспективных участков среди рудных зон. Она должна учитывать характер и размеры ореолов рассеяния вторичных урановых минералов. Для того, чтобы нанести на карту эти ореолы, необходимо предварительно разбить на карте прямоугольную сетку. В направлении простирания рудных зон линии прочерчиваются через 4—6 *м*, а вкрест — через 10 *м*. На исследуемой площади производятся наблюдения в местах, соответствующих точкам пересечения линий. Производительность такой съемки 0,1 *км*^{2} в месяц.

При поисковой (1 : 5000) люминесцентно-минералогической съемке разбивается аналогичная сетка с параметрами 8—10 *м* × × 40—50 *м*. Производительность съемки этого масштаба 0,4 *км*^{2} в месяц.

Само собой разумеется, что люминесцентно-минералогическую съемку следует вести на геологической основе масштаба, отвечающего масштабу съемки. Для правильной ориентировки люминесцентно-минералогической съемки на указанных картах должны быть нанесены элементы тектоники.

Основой люминесцентно-минералогической съемки является тщательная документация всех имеющихся горных выработок и коренных обнажений, число и распределение которых в идеальных случаях должно соответствовать указанным выше сеткам. При документации следует брать образцы как вмещающих пород, так и особенно встречающихся разновидностей минералов. Места взятия образцов нужно точно привязывать к выработкам, независимо от того, взят ли образец в коренном залегании или в отвалах других выработок. Описание обнажений следует производить кратко, отмечая вмещающие породы, состав и строение рудной зоны, мощность и взаимоотношения различных типов жил, элементы их залегания и пр. После этого дается подробная минералогическая характеристика данного обнажения. Обязательно указываются все разновидности встречающихся здесь минералов и даются их количественные соотношения (много, мало, очень мало и т. д.). В случае единичных находок образцов с тем или иным минералом следует указывать количество найденных образцов. При описании минералов необходимо указать, в каких породах они встречаются, и отмечать характер образований (ко-

рочки, натеки, чешуйки, гнезда, вкрапленность и т. д.). Следует также приводить данные по толщине корочек, величине включений и вкрапленников и описывать цвета минералов. При изучении люминесценции минералов нужно обращать внимание на степень, характер и цвет люминесценции. Особенно это важно для гиалитов. Очень важно отмечать, светится ли вся корочка, или участки ее и какие именно. Все взятые образцы необходимо промерять альфа-электроскопом, и результаты промеров наносить в полевую книжку (к описанию образца). Рекомендуется проверять наличие урана в люминесцирующих минералах микрохимическим методом, так как известны не урановые люминесцирующие минералы.

При проведении люминесцентно-минералогической съемки авторами были использованы солнечные люминоскопы двух систем: 1) системы В. Г. Мелкова и 2) системы В. З. Скороход.

Посредством люминоскопа системы В. З. Скороход можно вести наблюдения не только над образцами, но также непосредственно изучать обнажения. Люминоскоп устанавливается в этих случаях на обнажении так, чтобы наиболее яркие солнечные лучи падали на стекло-фильтр люминоскопа. Передвигая люминоскоп с места на место, изучают все обнажение. Таким образом, люминесцирующие минералы регистрируются in situ.

При документации выработок необходимо проводить тщательное обследование отвалов, для чего применяются люминоскопы обеих систем. Эта работа должна производиться путем маршрутов по отвалам (от одного конца выработки до другого) с просмотром на месте большого количества образцов под люминоскопом.

Не следует смущаться большим количеством образцов, которые необходимо исследовать под люминоскопом, потому что благодаря большому количеству образцов уже через короткий срок исследователь привыкает распознавать урановые минералы (кристаллические агрегаты, корочки, тонкие пленки) и дальнейшая работа значительно ускоряется.

Описанная работа производится геологом или минералогом, но к ней следует привлекать коллекторов. Опыт показывает, что наиболее производительно работа специалиста протекает, если ему помогают 2—3 коллектора. При данном составе группы производительность съемки увеличивается вдвое, по сравнению с указанной ранее.

На карты результаты наблюдений наносятся следующим образом. Урановые слюдки и другие собственно урановые минералы наносятся на карту значком определенного цвета. Люминесцирующие гиалиты наносятся значком другого цвета; целесообразно при этом двумя оттенками этого цвета обозначать отдельно сильно люминесцирующие гиалиты и гиалиты, обладающие средней и слабой люминесценцией. Не люминесцирующие гиалиты обозначаются белым значком. Люминесцирующие кальциты рекомендуется наносить другим значком и применять иные цвета. Заме-

тим, что обычно в кальцитах содержится меньше урана, чем в гиалитах.

Различной величиной этих значков можно одновременно нанести на карту характеристику количества взятых в данной точке образцов, как урановых минералов, так и люминесцирующих гиалитов и кальцитов, люминесценция которых обусловлена содержанием в них урана. Достаточно принять три величины значков, условно обозначающих: много, мало и очень мало образцов.

Соединением одинаковых значков на карте выделяются участки наличия урановых минералов и люминесцирующих гиалитов и кальцитов, т. е. оконтуриваются ореолы концентрации и рассеяния урана.

Люминесцентно-минералогическая съемка позволяет установить закономерности в распределении вторичных урановых минералов.

Образцы с урановыми слюдками и хрупкими корочками необходимо очень тщательно упаковывать. Их нужно заворачивать в восковку, затем обертывать ватой и только после этого упаковывать в оберточную бумагу. При производстве люминесцентно-минералогической съемки необходимо то же снаряжение, что и при геологической, т. е. горный компас, рулетка, пикетажная книжка, геологический молоток и пр., и, кроме того, необходимы солнечный люминоскоп, альфа-электроскоп и полевая химическая лаборатория.

Следует отметить, что люминесцентно-минералогическая съемка является очень трудоемкой, требует тщательной и внимательной работы, а также умения распознавать минералы поверхностной зоны урановых месторождений.

Самыми распространенными урановыми минералами поверхностной зоны месторождений являются различные урановые слюдки (ураноспинит, отунит, торбернит, цейнерит и др.), казолит и люминесцирующие гиалиты и кальциты.

Наиболее богатыми ураном минералами являются урановые слюдки и казолит. Они обычно концентрируются в центральных, наиболее богатых участках оруденелой площади, тогда как люминесцирующие гиалиты и кальциты характеризуют периферические ее части. В зонах развития минералов, богатых ураном, часто выделяются участки значительной концентрации указанных минералов. Площади распространения этих минералов окаймляются зонами ярко люминесцирующих и люминесцирующих гиалитов или кальцитов, которые в свою очередь обрамляются не люминесцирующими гиалитами и кальцитами.

Проведенной авторами статьи люминесцентно-минералогической съемкой некоторых месторождений установлено зональное распределение вторичных урановых минералов на поверхности месторождений. Ореолы рассеяния урановых минералов оказались четко вытянутыми в направлении простирания рудных зон. Урановые слюдки обычно не давали единого контура, а выделя-

лись на картах в виде разобщенных друг от друга участков длиной от 10 до 70 *м*. Очень редко они достигали 110—200 *м*. Ширина участков, сложенных слюдками, составляла от 4 до 20 *м* и реже до 30 *м*. Урановые слюдки на картах оказались окаймленными узкими зонами ярко люминесцирующих гиалитов (шириной от 7 до 20 *м*); и те и другие обычно располагались в широком поле люминесцирующих гиалитов, обрамленном не люминесцирующими гиалитами. Максимальная ширина зоны люминесцирующих гиалитов составила 95—110 *м*, обычная — от 8 до 40 *м*. В местах соединения двух рудных зон поле люминесцирующих гиалитов достигало 235 *м* в ширину.

Люминесцентно-минералогическая съемка, проведенная на ряде месторождений, подтвердила прогноз В. Г. Мелкова о гиалитах как поисковых признаках на уран. Она, как отмечалось, установила зональное распределение вторичных урановых минералов на поверхности месторождений, что позволило выделить наиболее перспективные участки, которым отвечали зоны развития урановых слюдок и казолита. Ореолы рассеяния урановых минералов оказались приуроченными к зонам осветленных пород, измененных гидротермальными процессами, расположенным около крупных тектонических нарушений. Строгая зональность в расположении ореолов рассеяния вторичных урановых минералов и связь их с геологическим строением и структурными элементами, а также данные радиометрических работ позволили рассматривать карты люминесцентно-минералогической съемки в качестве одного из ориентиров при планировании геолого-разведочных работ.

Результаты этой съемки сравнивались авторами с результатами метода определения ионизации воздуха и с результатами гамма-съемки. При этом максимумы кривых геофизических исследований соответствовали зонам минералов, богатых ураном (слюдкам и казолиту). На одном из месторождений люминесцентно-минералогической съемкой был выявлен новый участок оруденения, а геофизиками здесь была отмечена повышенная радиоактивность пород.

Суммируя все изложенное, можно рекомендовать люминесцентно-минералогическую съемку, как достоверный способ изучения поверхности урановых месторождений, который увязывает минералогические особенности с геологическим строением и структурными элементами.

Я. Д. Готман

ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ УРАНО-ВАНАДИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В настоящей статье описываются особенности некоторых типов урано-ванадиевых месторождений и делается попытка анализа имеющегося фактического материала для установления тех руководящих принципов, которые следует положить в основу поисков новых урано-ванадиевых месторождений.

Вместе с тем мы постараемся на основе имеющегося опыта подойти к разрешению вопроса об оценке поверхностных выходов, несущих видимые проявления урано-ванадиевого оруденения.

Следует, однако, иметь в виду, что опыт изучения урано-ванадиевых месторождений сравнительно мал, и что наши выводы должны подвергаться проверке в каждом конкретном случае и дополняться в зависимости от новых данных.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УРАНО-ВАНАДИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Из известных в настоящее время различных типов урано-ванадиевых месторождений, в данной статье будут описаны лишь три типа их: 1) месторождения, приуроченные к определенным стратиграфическим горизонтам известняков палеогена; 2) месторождения, приуроченные к определенным стратиграфическим горизонтам песчаников неогена, и 3) месторождения, приуроченные к слою элювия, состоящего из обломков горных пород, различных по возрасту и литологическому составу.

Урано-ванадиевые месторождения, залегающие в определенных стратиграфических горизонтах известняков палеогена

Самыми древними отложениями в районах месторождений этого типа являются меловые. Эта красноцветная толща пород, состоящая из конгломераторов, мергелей, песчаников с прослоями известняков, мощностью 270 *м*. Выше согласно, трансгрессивно залегают следующие отложения палеогена (снизу вверх);

	Мощность (в *м*)
Известняки серые с *Ostrea hemiglobosa* Rom.	4,5
Песчаники серые и красноватые	15
Серые песчанистые известняки с *Gryphaea*	10
Зеленые мергели и глины с *Gryphaea*	10
Светлосерый песчанистый известняк	9
Зеленые мергели с *Gryphaea esterhazyi* Pav. и др.	16
Светлосерый оолитовый известняк	5
Зеленый мергель с *Platygena asiatica* Rom.	10
Серая сланцевая известково песчанистая глина	10
Серый мергель	5
Серый мергель и глины с *Gryphaea*	24
Серый песчанистый известняк с *Gryphaea*	0,25
Малиновые глины	47
Серый тонкозернистый песчаник	5
Красные мергелисто-песчанистые глины с прослоями черных песчаников и конгломератов	150

Все эти отложения образуют две антиклинальные складки с синклинальным прогибом между ними. В ядрах антиклиналей залегают меловые отложения, в ядре синклинали — палеогеновые. Некоторые из складок вытянуты в широтном направлении, другие — в северо-восточном, с очень слабым погружением осей антиклиналей к западу. На месторождении развиты дизъюнктивные дислокации в виде сбросов, различно ориентированных и различной амплитуды. Там, где сбросы проходят через рудоносный пласт, установлено, что они пострудные.

Река, текущая в меридиональном направлении, образует V-образную долину и разрезает описанные складки.

Рудные тела локализованы в верхней мало песчанистой части известняков. Нижняя часть этого пласта содержит гораздо большее количество кластического материала, и терригенные обломки здесь значительно крупнее, что придает этой части пласта конгломератовидный характер. Известняки сильно трещиноватые. Они органогенные и, помимо устриц, мшанок и других форм, содержат микрофауну. Весь этот комплекс свидетельствует о нормальной солености бассейна.

Кластического материала в рудоносной части пласта, как указывалось, мало — от долей процента до 5—6%, редко больше. В пределах всего месторождения литологический состав известняков является выдержанным. Цвет известняков светлосерый с желтоватым оттенком, реже они бывают темносерыми.

На поверхностных выходах урано-ванадиевые минералы представлены очень скудно. Известняки здесь, местами на протяжении десятков метров, не несут порой никаких видимых урано-ванадатов. Там же, где последние видны, они образуют тончайшие налеты и примазки на трещинках известняка, наряду с которыми обычно наблюдается некоторое пропитывание породы урано-ванадатами, т. е. они выполняют мельчайшие поры в известняках,

замещают раковины микроорганизмов или проникают по плоскостям скорлуповатости внутрь раковин макрофауны. Часто при этом в лупу можно рассмотреть тончайшие пленки гипса, сопровождающего урано-ванадаты.

По форме рудные тела выделяются в пласте известняков, как плоские полосы оруденелых известняков, вытянутые в меридиональном или близком к нему направлении. В пределах таких полос руда наблюдается непрерывно, начинается на южном крыле антиклинали, продолжается в сводовой ее части и отсюда прослеживается далее на северном крыле. Остается неясным, переходят ли эти полосы в синклинальную зону между двумя антиклиналями, что, однако, весьма вероятно. Возможно, что продолжением этих рудных тел являются рудоносные известняки, разведанные на южном крыле следующей антиклинали. Далее на север в сводовой части второй антиклинали известняки палеогена смыты, но они наблюдаются на северном ее крыле, где также являются рудоносными.

Мощность оруденения рассматриваемой полосы варьирует в пределах от 0,1 до 2,0 *м*, но следует подчеркнуть, что обычно эта мощность колеблется в меньших пределах, в среднем она равна 1 *м*.

Минералогический состав месторождения характеризуется следующими минералами, которые перечисляются в порядке количественного убывания. Рудные минералы: тюямунит ($CaO \cdot V_2O_5 \cdot 2UO_3 \cdot 8H_2O$), карнотит ($K_2O \cdot V_2O_5 \cdot 2UO_3 \cdot 3H_2O$), лимонит, минерал типа урановой черни, сульфид ванадия и железа, шрекингерит ($3CaO \cdot Na_2O \cdot UO_3 \cdot 3CO_2 \cdot SO_3 \cdot 10H_2O$), пирит, окислы марганца и марказит. Нерудными минералами, участвующими в процессе рудообразования, являются гипс, кальцит и минерал, близкий к аттапульгиту (гидросиликат магния и алюминия).

На месторождении можно выделить два типа руд.

Первый тип — тюямунито-карнотитовый — является наиболее распространенным. Это светлосерые известняки с тюямунитом, карнотитом, гипсом и очень небольшим количеством лимонита и окислов марганца. Главные урано-ванадиевые минералы — тюямунит и карнотит — образуют пленки и корки по трещинкам в известняках, выполняют поры и небольшие пустотки в них, замещают раковинки микро- и макрофауны, как бы пропитывая известняки. Тесно с ними ассоциирует гипс, который выделяется ранее урано-ванадатов и указывает на то, что последние в этих рудах отлагались из сульфатных растворов. Повсеместное же нахождение такого гипса указывает на возникновение серной кислоты на месте, очевидно в результате окисления сульфидов, так как невозможно себе представить, чтобы серная кислота могла привноситься извне и свободно мигрировать в известняках.

Второй тип руд распространен на месторождении гораздо менее первого. Он представлен темносерыми известняками, в которых главными рудными минералами являются минерал типа ура-

новой черни (в его составе наряду с шестивалентным ураном имеется четырехвалентный), сульфид ванадия и железа, пирит и марказит. Эти минералы либо приурочены к глинистому веществу известняков, либо локализованы в микростилолитах-сутурах, либо находятся в ассоциации с кальцитом раскристаллизованных участков известняков. Наличие в рассматриваемых рудах сульфидов и четырехвалентного урана указывает на образование этих минералов в восстановительной среде, что исключает их выделение в условиях отложения поверхностными растворами. Гидротермальное их происхождение не представляется возможным, — никаких данных для этого на месторождении нет.

Этот тип руд встречается в виде небольших тел, размером от 10—15 *см* в диаметре до 2×2×0,9 *м*.

Повсюду, где обнаружены такие тела, они окружены ореолом руд тюямунито-карнотитового типа, на контакте между ними руды представлены переходными формами. Здесь наблюдается серый известняк с минералами, характерными для обоих типов руд, и, кроме того, обычно присутствует еще шрекингерит. Взаимное пространственное расположение обоих описанных типов указывает на то, что тюямунито-карнотитовые руды являются вторичными по отношению к рудам другого типа и образовались в результате процесса их окисления. Первыми минералами, которые возникают при этом, являются шрекингерит и какой-то, очевидно ванадиевый минерал, замещающий сульфид ванадия и железа, подобно псевдоморфному замещению пирита лимонитом. Этот вторичный минерал ближе не определен.

Генезис месторождений описываемого типа устанавливается исходя из следующих его особенностей.

1. Месторождение приурочено к одному из нескольких горизонтов известняков палеогена, которые не отличаются друг от друга настолько, чтобы какие-либо из этих отличий одного из них (химический и минералогический состав, трещиноватость, содержание органического вещества и т. п.) могли объяснить приуроченность оруденения только к данному горизонту известняков.

2. Постминерализационный характер наблюдаемых на территории месторождения сбросов показывает, что оруденение не приурочено к ним.

3. Наличие оруденения на значительном расстоянии от выходов известняков на поверхность свидетельствует о том, что не существует локализации оруденения только у сбнажений рудовмещающего пласта на поверхности.

4. Участок предгорий, где находится месторождение, представлял во время образования рудоносных известняков прибрежную зону мелководного моря.

5. Среди рудных минералов месторождения имеются сульфиды и минерал, содержащий уран в четырехвалентной форме, которые отложились одновременно с илом, впоследствии превращенным в известняк, т. е. сингенетичных с ним.

6. Наблюдаемые на месторождении тюямунит, карнотит, шрекингерит, лимонит и гипс образовались в результате изменения первичных минералов в условиях окислительной обстановки.

7. Наличие сульфида ванадия, железа и пирита указывает на роль серы при отложении этих минералов; эти минералы и минерал, содержащий четырехвалентный уран, свидетельствуют о восстановительной среде, существовавшей во время их образования (очевидно, в донном иле, а не в воде бассейна).

8. Тесная связь гипса с вторичными урано-ванадатами свидетельствует о роли серной кислоты в процессе образования минералов зоны окисления, однако при рассмотрении генезиса месторождения следует иметь в виду, что миграция сернокислых соединений в известняках очень затруднена.

Все изложенные особенности позволяют сделать следующий вывод о генезисе этого месторождения.

В мелководный бассейн эоценового моря во время отложения органогенного известкового ила, впоследствии превратившегося в известняки, поступали растворы, содержавшие уран, ванадий и железо, которые выносились из палеозойских отложений. Под влиянием восстановительной среды, создаваемой гниением умиравших организмов, возможно с выделением сероводорода, из этих растворов осадились, вероятно в виде гелей, сульфиды и уран в соединении типа урановой черни. При осаждении этих соединений органическое вещество играло роль не только осадителя но, вероятно, также и абсорбента. В процессе диагенеза с перекристаллизацией ила в кальцит происходила перекристаллизация осажденных гелей, превратившихся в наблюдаемые ныне минералы. После регрессии моря и тектонических процессов, в итоге которых образовавшиеся породы были смяты в складки и разбиты трещинами, и после эрозионных процессов, обусловивших появление рудовмещающего пласта на поверхность, ранее образовавшиеся минералы подверглись окислению с образованием серной кислоты за счет серы сульфидов. Серная кислота тотчас же нейтрлизовалась материалом известняков с образованием гипса, чем и объясняется тесная его генетическая связь с уранованадатами.

На описываемом месторождении имеются источники нефти и сероводородный источник, связанные с рудным горизонтом. Эта нефть сингенетична или, во всяком случае, перенесена не из далека. Можно думать, что эта нефть обязана происхождением тем же умиравшим организмам, роль которых в процессе концентрации урана была изложена выше. Существует ли какая-либо более тесная генетическая связь между урано-ванадиевыми месторождениями и нефтью, решить трудно, но то, что одна общая причина приводила к концентрации урана и к возникновению нефти, заставляет нас при поисках урано-ванадиевых месторождений не пренебрегать этим обстоятельством.

Известные нам карнотитовые месторождения приурочены к районам, характеризующимся в период отложения прибрежных

осадков развитием на суше аридного климата. Это можно объяснить тем, что в условиях этого климата процессы окисления и связанные с ними процессы выщелачивания протекают значительно интенсивнее, чем в странах с умеренным или холодным климатом. Соединения урана, находившиеся в окружающих море палеозойских поднятиях, окислялись интенсивнее в условиях аридного климата, что способствовало миграции урана и попаданию его в водный бассейн, где отложение его шло в иных условиях.

Повидимому, необходимым условием здесь является глубокая дезинтеграция пород и жильных образований палеозоя, содержавших уран и ванадий, при химическом выветривании, периодический вынос материала в кратковременные дождливые сезоны, обусловливающие вымывание соединений урана и ванадия.

Для сохранения карнотитовых месторождений в пластах полупустынный сухой климат опять-таки должен быть более благоприятен. Хотя зона поверхностной дезинтеграции при нем может быть и глубже, но вымывание из нее соединений урана и ванадия тем самым ограничено, и часть из них может даже остаться в этой зоне, а через 2—3 *м* и до 10 *м* можно рассчитывать и на сохранение рудных залежей. Циркуляция грунтовых вод при влажном климате вынесет весь уран, тем более, что в этом случае грунтовые воды могут содержать гумусовые кислоты.

В заключение описания этого месторождения нужно подчеркнуть, что сингенетическое происхождение его, т. е отложение рудного материала на дне бассейна в то время, когда еще складок не существовало, обусловливает ныне различное расположение рудных тел по отношению к складчатости. Иными словами, рудные тела могут не следовать направлениям отдельных элементов складчатости.

Урано-ванадиевые месторождения, залегающие в определенных стратиграфических горизонтах песчаников неогена

Прежде чем перейти к описанию этих месторождений, нужно хотя бы вкратце охарактеризовать неогеновые отложения северной полосы описываемого региона.

Схема разреза неогеновых отложений снизу вверх такова:

а) Кирпично-красная свита, представленная чередованием красных глин и песчаников с преобладанием первых. В юго-западной части северной предгорной полосы эта свита представлена соленосными отложениями.

б) Глинисто-песчаниковая свита, представленная преимущественно песчаниками (глины имеют подчиненное значение). На юго-западе она выражена гипсоносной серией пород.

в) Тонкослоистая свита, характеризующаяся тонким чередованием примерно равных по значению слоев песчаников и глин.

г) Толстослоистая свита, в которой чередуются более мощные слои песчаников и глин. Среди глин обычны прослои песчаников меньшей мощности.

д) Переходная свита, состоящая главным образом из темноокрашенных глин.

е) Покровная свита, сложенная песчано-глинистыми лёссовидными суглинками, песчаниками и частично конгломератами.

Обнаруженное урано-ванадиевое оруденение приурочено к одному из пластов песчаников верхней части толстослоистой свиты на южном крыле антиклинали.

Рудные тела в этом месторождении известны на трех участках в бортах суходолов. Все три участка расположены на одной линии, совпадающей с линией простирания пород. Расстояние между крайними точками, где известно оруденение, составляет несколько километров. Крайний северо-восточный участок разделен на два проходящим здесь сбросом северо-западного простирания. Песчаники падают на юго-восток под углом 13—20°. Рудные тела известны в 300 *м* от выхода песчаников на поверхность.

Рудоносные песчаники этого месторождения представлены серыми крупно- и среднезернистыми, слабо сцементированными разностями с прослоями более тонкозернистых и грубозернистых. По простиранию эти прослои крайне не выдержаны.

Среди слабо сцементированных залегают прослои более плотных песчаников мощностью от 5 до 15 *см*. В обнажениях эти прослои выделяются в виде «карнизов». Местами такие карнизы расположены друг над другом в несколько рядов. Обычным для описываемых песчаников является наличие в них обломков плотных глин и мергелей, которые местами образуют прослои мощностью до 10 *см* и более. Обычно песчаники тонкослоисты, наблюдается также косая слоистость, но распространение этого явления сравнительно ограничено.

Характерным для рудоносных песчаников является наличие окаменевших растительных остатков в виде тонких растительных стволов диаметром от 1 до 3 *см* и редко более.

По своему минералогическому составу песчаники являются полимиктовыми с известковистым и глинистым цементом.

Широкое распространение этих песчаников далеко за пределами месторождения показывает, что они откладывались в бассейне значительных размеров озерного типа, а характер наблюдаемой здесь местами косой слоистости свидетельствует о том, что в этом озере были временные потоки.

На поверхностных выходах желтые и зеленовато-желтые урано-ванадаты представлены тонкими налетами и примазками, но обычно эти минералы проникают и внутрь породы, окрашивая ее в желтоватые и желтовато-зеленоватые тона. Местами песчаники принимают бурую окраску от окислов железа, но, как установлено, к этим окислам железа примешивается какой-то ванадиевый минерал, который маскируется окислами железа. Эта обохренность песчаников уже давно является для практиков наводящим признаком при поисках новых рудных тел.

Оруденение в пласте является прерывистым: здесь рудные тела разделены друг от друга безрудными участками песчаника.

Рудные тела на этом месторождении представлены главным образом плоскими линзами, вытянутыми по направлению падения песчаников. Длина этих рудных тел различна и измеряется первыми десятками метров. Ширина таких линз небольшая: 1 — 2— 3 *м*, реже больше. Мощность линз в среднем составляет 0,5 *м*. Местами в линзах наблюдается тонкая полосчатость, обусловленная чередованием тонких рудных и безрудных прослоев в однородных по величине частиц песчаниках.

Менее распространен на месторождениях другой тип рудных тел. Это скопления рудных минералов, приуроченные к растительным остаткам. Обычно это очень богатые руды, но размеры этих рудных тел небольшие: они определяются размерами окаменевших растительных остатков, о которых упоминалось выше.

Некоторые авторы предложили различные названия для отдельных типов руд, выделяя вкрапленные, пятнистые, полосчатые, пленочные или инфильтрационные и конкреционные руды, но для понимания генезиса месторождения и оценки его по поверхностным выходам нам кажется достаточным указать, что в данном месторождении рудные минералы проникают внутрь породы, а не выделяются только в виде тонких пленок на плоскостях трещиноватости.

Месторождение содержит следующие минералы: тюямунит, карнотит, лимонит, какой-то ближе не определенный водный ванадиевый минерал и пирит. Нерудными минералами, сопровождающими процесс рудообразования, являются гипс и кальцит.

Мы здесь не наблюдаем первичных минералов урана и ванадия, но процесс образования вторичных минералов сходен с тем, который описан для месторождения, где рудоносным является горизонт известняков палеогена.

Дело в том, что тюямунит и карнотит приурочены к известковому цементу песчаников, замещая его, и при этом они ассоциируют с гипсом. В песчаниках, где содержание карбоната кальция исчисляется десятками процентов, серная кислота мигрировать не может, и образование гипса, ассоциирующего с урано-ванадатами, может мыслиться только как реакция нейтрализации карбонатом кальция серной кислоты, возникающей здесь же на месте за счет окисления сульфидов. Раз это так, то следует сделать вывод о том, что первичный минерал ванадия был здесь в виде сульфида, а совместное нахождение ванадия и урана подсказывает наличие здесь также и какого-то первичного минерала урана. Присутствие сульфида ванадия и первичного минерала урана свидетельствует о восстановительной среде, в которой они возникали. Таким образом, генезис этого месторождения является аналогичным тому, который был предложен для урано-ванадиевых месторождений, залегающих в известняках палеогена, с той лишь разницей, что в данном случае отложение рудного материала проис-

ходило одновременно с континентальными озерными отложениями, а роль органического вещества здесь играли гниющие растительные остатки.

Другое месторождение этого типа отличается от первого прежде всего тем, что, помимо урана и ванадия, здесь имеется медь и месторождение является медно-урано-ванадиевым. Второй важной особенностью этого месторождения является приуроченность оруденения к песчаникам средней части тонкослоистой свиты неогена, слагающей северное крыло антиклинали.

Простирание пород здесь близкое к широтному, падение на север крутое. Рельеф района чрезвычайно изрезанный с относительными превышениями точек друг над другом до 150—200 *м* на протяжении 0,5 *км* по горизонтали.

Длина пласта рудоносного песчаника составляет около 1,5 *км*.

Рудоносные песчаники представлены крупно- и среднезернистыми разностями серого цвета; по минералогическому составу они полимиктовые с известковистым цементом и содержат окаменевшие растительные остатки.

На выходах оруденение представлено скудными выделениями желтых урано-ванадатов, имеется здесь фисташково-зеленый минерал типа узбекита и, кроме того, здесь наблюдаются синие и зеленые медные минералы окисленной зоны. Обычно эти минералы ассоциируют с бурым железняком и выходы оруденелых участков песчаников обохрены. Все эти минералы проникают внутрь породы, и в рудоносных участках она приобретает синевато-зеленовато-желтый цвет.

Рудные тела на этом месторождении имеют формы уплощенных линз, разобщенных друг от друга безрудными участками песчаников. Линзы имеют длину от 1 до 8 *м* при мощности от 0,1 до 0,3 *м*. Ни по восстанию, ни по падению точные размеры этих линз, которые залегают согласно с напластованием пород, неизвестны.

Можно высказать предположение, что генезис этого месторождения аналогичен генезису ранее описанного, поскольку оно также приурочено к определенному стратиграфическому горизонту и имеет большое сходство с ранее описанным.

Урано-ванадиевые рудопроявления, приуроченные к слоям элювия, содержащим обломки горных пород, различных по возрасту и литологическому составу

Резким отличием рудопроявлений этого типа от предыдущих является распространение оруденения на площадях в десятки и сотни квадратных километров. Несмотря на то, что оруденение на этих площадях приурочено к совершенно различным по возрасту комплексам пород, их генезис одинаков, так же как и масштаб оруденения и перспективы их.

Одно из таких рудопроявлений приурочено к отложениям нижнего палеогена. Это слабо всхолмленная равнина, слабо повы-

шающаяся к северу рядом пластообразных уступов, являющихся структурными террасами. Превышение их друг над другом исчисляется немногими метрами, склоны обычно пологи, рассеченность рельефа гидрографической сетью слабая, мощность четвертичного покрова, как правило, не превышает 1—1,5 *м*.

Стратиграфическая схема такова. Внизу залегает песчаная толща, условно относимая к верхнему мелу. Мощность ее 30 *м*, и разбивается она на следующие четыре горизонта снизу вверх: пески желто-бурые; пески синеватые; песчаники желтые и зеленоватые; песчаники гипсоносные.

Выше залегает гипсо-доломитовая толща мощностью 12—15 *м*, относимая к палеогену. В ней выделено также четыре горизонта: песчанистые известняки; нижние гипсы; доломиты оолитовые между-гипсовые; верхние гипсы. Эта толща фациально не выдержана. При общем увеличении ее мощности к юго-востоку, где на расстоянии 20—30 *км* она достигает 60 *м*, и при полном выклинивании ее к северу на расстоянии 7—10 *км*, в ее пределах происходит увеличение и уменьшение мощностей отдельных ее горизонтов. Это объясняется тем, что осадки этой толщи образовались в разобщенных между собой лагунах с повышенной соленостью воды.

Над гипсово-доломитовой толщей залегает карбонатная того же возраста, мощностью 30—35 *м*. Судя по обилию доломитов и гипсов, бедности фауной и наличию оолитовых структур, эта толща также отложилась в бассейне с ненормальной соленостью но меньшей, чем в предыдущую эпоху. Известняки этой толщи являются в незначительной части органогенными, а в основном образовались химическим путем. Карбонатная толща разделена на следующие горизонты: доломиты оолитовые надгипсовые; слоистые доломиты и вторичные кристаллические известняки; плотные кристаллические известняки и доломиты.

Все эти отложения слагают полого наклоненные (максимум 1—2°) крылья антиклиналей, ширина которых немногим меньше длины, что в плане придает им сходство с брахиантиклинальными поднятиями.

Урано-ванадиевое оруденение, общей площадью до 10 *км*^{2}, наблюдается во всех описанных горизонтах пород, за исключением гипсовых горизонтов, но всегда оно приурочено к слою элювия, залегающему непосредственно под почвой. Мощность слоя, в котором наблюдается урано-ванадиевое оруденение, составляет 0,3—0,5 *м*, реже до 1 *м*. Ниже в коренных породах примазки рудных минералов резко уменьшаются в количестве, и на расстоянии десятков сантиметров от подошвы слоя элювия они совершенно исчезают.

Соответственно залеганию элювия на разных гипсометрических уровнях, следуя рельефу местности, оруденение как бы плащом перекрывает коренные породы.

Минералогически оруденение представлено желтым урано-ванадатом, который в виде тончайших пленок и примазок выде-

ляется на плоскостях трещин в породах. Нередко урано-ванадат ассоциирован с почвенным гипсом, и в таких местах наблюдаются мельчайшие гнездышки, состоящие из смеси урано-ванадата с гипсом. Размер этих гнездышек не выходит за пределы 1—2 *мм* в диаметре. Следует подчеркнуть, что нигде в пределах разведанных участков не наблюдается вкрапленности урано-ванадатов внутри породы, и этим объясняется то обстоятельство, что анализы многочисленных проб из этого месторождения показали либо отсутствие окиси урана, либо ничтожное содержание ее. Даже образцы с видимым, наиболее богатым оруденением по измельчении в порошок показывают очень низкое содержание окиси урана. К этому следует добавить, что распространение урано-ванадатов даже в слое элювия крайне неравномерное. Оруденение встречается на ограниченных участках (в 10 — 20 *см*) по вскрытой поверхности пород, разобщенных друг от друга участками неоруденелых пород протяжением 1 — 2 до 10 *м* и более. В ряде канав, имеющих длину 10 — 12 *м*, наблюдаются лишь единичные примазки желтых урано-ванадатов.

Описанный характер оруденения на этом участке позволяет сделать заключение об эпигенетическом его происхождении. В данном случае наблюдается пример отложения урано-ванадатов поверхностными процессами, в том числе и почвенными.

Таким образом, нет никаких оснований ожидать промышленной концентрации урано-ванадатов эпигенетического происхождения в более глубоких горизонтах подобных участков.

Другое рудопроявление этого типа, подчиненное отложениям неогена, расположено в песчаной пустыне.

Рельеф района является типичным для областей развития эоловых песков, которые здесь образуют слабо выраженные гряды, поднимающиеся над межгрядовыми понижениями на 15 — 25 *м*.

Под песками, имеющими здесь мощность от 0,5 — 1 до 25 *м*, залегают, повидимому, горизонтально неогеновые отложения, представленные мергелистыми и песчаными глинами и песчаниками с небольшими линзами мелкогалечных конгломератов. Эти неогеновые отложения фациально не выдержаны, что объясняется условиями их отложения в болотистых равнинах дельт неогеновых рек.

Под почвенным слоем все упомянутые выше породы в результате элювиальных и почвенных процессов превращены в своеобразные скопления песчаниковых стяжений конкреционной формы, напоминающие конгломераты, образующие щебенчатые россыпи в тех местах, где коренные породы залегают близко от поверхности. Этот слой элювия, который следует рельефу местности и покрывает почти сплошным плащом коренные породы, обогащен почвенным гипсом. Последний образует то отдельные гнезда и скопления неправильной формы, то заполняет промежутки между обломками пород слоя элювия и трещины в них.

Урано-ванадиевое оруденение, представленное желтыми урано-ванадатами, приурочено именно к этому слою элювия, мощностью

от 0,3 до 2 *м*, обычно не превышающему 0,5 — 0,7 *м*. Следуя плащеобразному залеганию слоя элювия, урано-ванадиевое оруденение оказывается на разных гипсометрических уровнях и приурочено к различным по литологическому составу породам. С глубиной интенсивность оруденения резко уменьшается, и в коренных породах оно представлено единичными примазками рудного минерала, исчезая совершенно на глубине 0,5 — 1 *м* от их верхних границ.

Оруденение представлено редкими разобщенными пленками и примазками урано-ванадата по трещинам пород, и только там, где развит почвенный гипс, урано-ванадаты образуют гнездышки размером до 2 *мм* в диаметре. Оруденение неравномерное и даже в наиболее обогащенных участках является убогим. Бороздовое и секционное опробование многих проб показало ничтожное содержание окиси металла, и только отдельные отобранные лучшие образцы показывают содержание максимум 0,02 — 0,03 и реже 0,06%. Выход таких образцов из массы руды ничтожен.

Связь оруденения с поверхностными процессами, приуроченность его к маломощному слою элювия здесь не вызывает сомнений. А вместе с этим исключается возможность нахождения концентраций урана эпигенетического происхождения на глубине. Таким образом устанавливается общность генезиса этого месторождения с ранее описанным.

КРИТЕРИИ ДЛЯ ПОИСКОВ УРАНО-ВАНАДИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Особенности урано-ванадиевых месторождений различных типов, описанных выше, дают недостаточный материал для того, чтобы сформулировать определенные рекомендации для поисков новых урано-ванадиевых месторождений промышленного значения и дать точные указания для правильной оценки месторождения по его поверхностным выходам. Однако и эти данные могут оказать услуги геологу-поисковику, но последний должен всегда иметь в виду, что могут быть встречены еще не известные нам типы урано-ванадиевых месторождений, и поэтому при разрешении конкретных задач по поискам новых месторождений необходимо исходить не только из приведенных данных, но и из той геологической обстановки, в которой ведутся поиски.

Рассматривая отдельные критерии поисков новых урано-ванадиевых месторождений, следует подчеркнуть, что не всякий признак имеет одинаковое значение для разных генетических типов месторождений. Поэтому в дальнейшем изложении будет отмечаться значение каждого поискового признака для разных типов урано-ванадиевых месторождений.

Можно выделить целый ряд поисковых критериев. Мы рассмотрим отдельно стратиграфические, фациально-литологические, структурные, минералогические, радиометрические и люминесцентные поисковые признаки.

1. Стратиграфические признаки. Все месторождения урана и ванадия осадочного происхождения приурочены к определенным стратиграфическим горизонтам. Месторождения, залегающие в неогеновых отложениях, приурочены к определенному горизонту песчаников либо толстослоистой, либо тонкослоистой свиты; месторождения, залегающие в известняках палеогена, приурочены обычно к определенным ярусам.

Таким образом, при поисках новых месторождений, аналогичных известным, следует вести тщательные наблюдения в песчаниках толстослоистой и тонкослоистой свит неогена и в различных горизонтах известняков палеогена.

Следует при этом иметь в виду, что пласты песчаников неогена, сходные с пластами тех свит, к которым приурочены урано-ванадиевые месторождения, могут быть обнаружены и в пределах других свит. Необходимо при этом учесть фациально-литологические особенности тех пластов, которые содержат рудные тела.

2. Фациально-литологические признаки. Эти признаки следует отдельно рассмотреть для месторождений, приуроченных к песчаникам неогена, и для месторождений, залегающих в известняках палеогена.

Литологические особенности неогеновых отложений почти совершенно не изучены, но широкое распространение песчаников толстослоистой и тонкослоистой свит указывает на то, что эти осадки отложены в бассейне значительных размеров, типа очень крупного озера. Косая слоистость, которая наблюдается в рудоносных песчаниках, и ее характер свидетельствуют о существовании в этом бассейне временных потоков, но явление это сравнительно ограничено, и режим бывшего здесь бассейна, очевидно, был довольно спокойным.

По данным геологических исследований, этот бассейн был пресноводным, а наблюдающаяся загипсованность пород объясняется образованием вторичного гипса. Необходимо подчеркнуть, что в рудоносных песчаниках гипс является минералом, сопровождающим образование рудных минералов в зоне окисления, но, конечно, далеко не всегда вторичный гипс является индикатором урано-ванадиевого оруденения.

Характерной особенностью рудоносных песчаников неогена является наличие растительных остатков и известковистого цемента. Учитывая, что обе эти особенности отмечаются исследователями для всех карнотитовых месторождений США, следует сделать вывод о важности этих особенностей. Это и понятно. Растительные остатки объясняют нам, как возникала восстановительная среда в бассейне, без чего не могли бы осадиться первичные закисные соединения урана и сульфидов металлов. Кроме того, возможно, что гниющее органическое вещество являлось абсорбентом восстановленных соединений металлов. Наличие же известковистого материала обусловливало щелочную реакцию среды, способствовавшую процессам восстановления.

Таким образом, при поисках новых урано-ванадиевых месторождений в неогеновых отложениях должно быть обращено внимание на песчаники, отлагавшиеся в пресноводных озерах со сравнительно спокойным режимом. Песчаники должны содержать известковистый цемент. Благоприятным поисковым признаком является нахождение местами растительных остатков.

К сожалению, наличие растительных остатков не является *прямым поисковым признаком. В ряде участков растительные остатки* безрудны, и не всегда рудные залежи содержат сохранившиеся растительные остатки. Процессы накопления урано-ванадиевых соединений, как показывает изучение карнотитовых месторождений США, протекали в сложной геологической обстановке, расшифровка которой связана с большими трудностями.

В месторождениях, залегающих в известняках палеогена, *литологические особенности вмещающих пород также изучены мало.* Известно, что мы имеем дело с известняками, отложившимися в прибрежной части теплого морского бассейна с нормальной соленостью. Известняки эти органогенные, и органическое вещество, а также карбонат кальция, очевидно, играли ту же роль при возникновении месторождений, какая отмечалась для месторождений, залегающих в песчаниках неогена. Отметим, что кластического материала в этих известняках мало (от долей процента до 5—6%), но зависимость рудообразования от количества обломочного материала не отмечена. К этому следует добавить, что нам известны урано-ванадиевые месторождения в США, приуроченные к конгломератам, но генезис этих конгломератов, по мнению американских исследователей, не ясен. Во всяком случае и конгломераты не должны упускаться из виду при поисках урано-ванадиевых месторождений.

3. Структурные признаки. По новейшим данным американских исследователей, структурные особенности не влияют на образование карнотитовых месторождений. Последние известны и в *антиклинальных и в синклинальных частях складок. К этим же выводам* приводят нас исследования отечественных урано-ванадиевых месторождений. Роль дизъюнктивных дислокаций при образовании подобных месторождений также в настоящее время отрицается с полным основанием.

Тем не менее при поисках новых урано-ванадиевых месторождений нельзя пренебрегать структурными особенностями районов, *в которых производятся поиски. Дело в том, что установ*ление сингенетического происхождения для многих урано-ванадиевых месторождений ставит на очередь поиски новых урано-ванадиевых месторождений не только там, где отложения неогена и палеогена обнаружены гидрографической сетью, но и в закрытых, необнаженных районах. Для проведения таких поисков необходимы применение поискового бурения и проходка более глубоких горных выработок, чем те, которыми ограничиваются при поисках руды на поверхности.

Само собой разумеется, что такие поиски следует начинать с антиклинальных частей складок, где глубина залегания возможного рудоносного горизонта меньше, чем в синклинальных частях складок. Лишь после того, как руда будет обнаружена в антиклинали, следует приступать к прослеживанию ее в других, более глубоких частях складок.

Там, где антиклинальные части складок размыты и остались только их крылья и в последних рудоносные горизонты круто падают, необходимо считаться с тем, что выпадающие атмосферные осадки могут обусловить значительное выщелачивание рудных минералов, в особенности если головы рудоносных пород обнажены на поверхности. В первую очередь это касается известняков палеогена, ибо, как правило, палеогеновые отложения в антиклинальных частях складок смыты и головы крутопадающих горизонтов известняков обнажены на поверхности. Лишь в отдельных районах палеогеновые отложения сохранились в антиклиналях. Примерами такого интенсивного выщелачивания рудного материала из известняков, принимающих участие в строении крутопадающего крыла складки, могут служить некоторые из месторождений в соседних районах.

Глины и мергели, перекрывающие рудоносные горизонты известняков, несомненно, предохраняют последние от выщелачивания.

Таким образом, при выборе участков для поисков новых урано-ванадиевых месторождений с применением поискового бурения и проходкой глубоких горных выработок, нужно в первую очередь обращать внимание на менее глубокие антиклинальные части складок, где возможные рудоносные горизонты залегают полого и сверху перекрыты мало водопроницаемыми глинами и мергелями.

Напомним, что большинство карнотитовых месторождений США приурочены к полого залегающим песчаникам юры и перекрыты толщами песчано-глинистых осадков.

4. Минералогические признаки. Обнаружение ярко окрашенных желтых тюямунита и карнотита, наиболее распространенных минералов карнотитовых месторождений, в обнажениях осадочных пород является наилучшим признаком при поисках новых урано-ванадиевых месторождений. К этому следует добавить, что капельные реакции на уран и ванадий легко осуществляются в настоящее время в полевых условиях, поэтому диагностика урано-ванадиевых минералов не встречает затруднений. Однако общепринятое представление о легкости обнаружения этих минералов не вполне оправдано. При описании главнейших типов урано-ванадиевых месторождений отмечалось, что примазки и пленки желтых урано-ванадатов на поверхностных выходах месторождений представлены очень скудно, а на фоне некоторых пород, как, например, на поверхности светлосерых с желтоватым оттенком известняков палеогена, они не только не бросаются в глаза, но

даже при внимательном осмотре обнажений легко пропускаются. Поэтому особенно внимательный осмотр обнажений, не говоря уже о применении специальных радиометрических и люминесцентных приборов, является совершенно обязательным при поисках урано-ванадиевых месторождений.

Кроме того, могут представиться случаи, когда этот минералогический признак — нахождение желтых или зеленовато-желтых урано-ванадиевых минералов — будет полностью отсутствовать. Общеизвестно, что тюямунит и карнотит легко мигрируют. Они растворяются в одном месте и легко переотлагаются в другом. В условиях жаркого климата испарение выпадающих атмосферных осадков протекает очень быстро, и поэтому растворенный урано-ванадат легко тут же переотлагается. Этот процесс можно сравнить с образованием выцветов разных солей. В условиях умеренного влажного климата, где в растворении минералов на поверхности принимают участие также гумусовые кислоты, урано-ванадаты могут быть полностью удалены с поверхностных выходов месторождений, и последние в подобных условиях легко пропустить.

В более глубоких горизонтах месторождения урано-ванадиевое оруденение может быть представлено черными рудами, содержащими сульфиды ванадия и урановые черни. Радиометрические наблюдения дают возможность обнаруживать урановые руды среди черных и бурых образований.

При описании урано-ванадиевых месторождений, залегающих в известняках палеогена, отмечено было, что органическое вещество являлось, может быть, изначальной причиной концентрации урана, с одной стороны, и исходным веществом для образования нефти — с другой. Существует ли более тесная генетическая связь между урано-ванадиевыми месторождениями или нет, еще точно не установлено, тем не менее все горизонты известняков, подозреваемые как нефтепроизводящие, должны быть подвергнуты ревизии на содержание урана. Наилучшим способом такой ревизии является проверка на содержание урана кернов из тех участков скважин, бурящихся на нефть, которые пересекли нефтепроизводящие свиты. Конечно, в кернах, поднятых со значительных глубин, вряд ли окажется тюямунит или карнотит, даже если в керне содержатся уран и ванадий. В подобных случаях особое внимание необходимо обращать на всякого рода черные и бурые образования, которые сами по себе могут оказаться урановыми и ванадиевыми минералами или могут маскировать их.

5. Радиометрические признаки. Применение альфа-электроскопов при поисках урано-ванадиевых месторождений на поверхности требует большой осторожности для оценки выводов по изучению радиоактивности. Дело в том, что образцы, взятые на расстоянии всего нескольких метров от выхода на поверхность рудных тел, при измерении альфа-электроскопом не обнаруживают повышенной радиоактивности. Таким образом, наличие рудных

тел, залегающих в самом незначительном удалении от выходов рудовмещающих пород на поверхность, не будет обнаружено альфа-электроскопом.

С другой стороны, если будут производиться измерения образцов, взятых в районе существующего месторождения, где производится добыча руды, где имеются отвалы ее и где производится отпалка пород в выработках, то будет обнаружена повышенная радиоактивность этих образцов даже на расстоянии 2 *км* и более от горных выработок. Очевидно, это объясняется тем, что ветер распыляет рудные минералы при высыпании пород в отвал и при взрывных работах.

Следовательно, только в том случае, если рудные тела обнаружены на поверхности, но их не удается разглядеть вследствие того, что урано-ванадаты здесь замаскированы гидроокислами железа и марганца и частично выщелочены, измерения альфа-электроскопом могут оказаться решающими для обнаружения таких месторождений. При этом надо иметь в виду, что измеряемые образцы должны быть тщательно высушены и измерять их нужно на первой стадии изучения в кусках, а не в порошке. При массовом промере подобных образцов можно рассчитывать на то, что кое-где сохранившиеся примазки урано-ванадатов обусловят повышенную радиоактивность, которую уловит альфа-электроскоп. Измерение тех же образцов в порошке неминуемо даст отрицательные результаты, так как отдельные примазки урано-ванадатов, перемешанные с измельченной массой образца, не окажут практически никакого влияния на показания альфа-электроскопа.

Возвращаясь к вопросу о поисках урано-ванадиевых месторождений, не имеющих естественного выхода на поверхность, следует подчеркнуть, что при глубоком залегании вряд ли смогут оказать помощь приборы, основанные на определении радиоактивности по гамма-излучению. Последние могут «нащупать» рудное тело на глубине 60 — 70 *см* от поверхности.

Применение эманационной радиометрической съемки для поисков урано-ванадиевых месторождений с проходкой мелких скважин и подсосом из них воздуха позволяет получить характеристику радиоактивности пород более глубоких горизонтов и может быть рекомендовано для оценки участков, давших благоприятные показатели на первой стадии изучения.

6. Люминесцентные признаки. При поисках урано-ванадиевых месторождений большую помощь может оказать люминесцентный анализ. Даже с помощью солнечного люминоскопа можно обнаружить такие количества урановых минералов, которые не оказывают влияния на применяющиеся при поисках электроскопы. Известно, что гиалиты, содержащие мельчайшие включения урановых минералов, хорошо светятся в ультрафиолетовых лучах. То же самое можно распространить на гипсы, содержащие урановые минералы. В меньшей мере (и это требует еще уточнения)

светятся карбонаты кальция, содержащие мельчайшие включения урановых минералов.

При работах с солнечным люминоскопом замечено, что с приближением к рудному телу образцы окружающих пород чаще обнаруживают содержание урановых минералов и обладают более интенсивным свечением.

Проверка в районах развития урановых месторождений жильного типа показала хорошую применимость этого метода и возможность исследовать значительные площади в сравнительно короткие сроки.

При поисках урано-ванадиевых месторождений осадочного типа можно также ожидать благоприятных результатов применения люминесцентного анализа, так как гипс и кальцит являются минералами, сопутствующими урано-ванадатам, и наряду с другими поисковыми признаками нахождение гипса и кальцита, свечение которых обусловлено содержанием урановых минералов, явится важным дополнительным признаком наличия урано-ванадиевого месторождения.

ЗНАЧЕНИЕ ПРАВИЛЬНОГО ПОНИМАНИЯ ГЕНЕЗИСА ПРИ ОЦЕНКЕ УРАНО-ВАНАДИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Правильное понимание генезиса различных эндогенных месторождений имеет огромное значение при оценке перспектив месторождений и для постановки геолого-разведочных работ на них. Не меньшее значение имеет правильное понимание генезиса осадочных урано-ванадиевых месторождений.

До тех пор, пока господствовали идеи эпигенетического образования при объяснении способов возникновения урано-ванадиевых месторождений осадочного типа, перспективы этих месторождений были ограничены поверхностными выходами. Разведочные работы не распространялись на глубокие части месторождений и при поисках урано-ванадиевых месторождений внимание обращалось исключительно на обнажения возможных рудовмещающих пород в бортах суходолов и речек.

Идеи сингенетического образования урано-ванадиевых месторождений расширили рамки поисковых работ. Прежде всего поиски в определенно установленных рудоносных горизонтах нельзя уже было ограничивать только выходом на поверхность пород этих горизонтов. Теперь уже ясно, что в пределах горизонтов рудные тела могут быть обнаружены на глубине, вне связи с выходами на поверхность пород этих горизонтов. Кроме того, изучение фациально-литологического состава рудовмещающих пород определенного района позволяет распространить поиски урано-ванадиевых месторождений на стратиграфические горизонты, которые содержат породы с аналогичными фациально-литологическими особенностями, но в которых пока урано-ванадиевые месторождения не известны.

Эти идеи позволяют также правильно оценить перспективы вновь открытого урано-ванадиевого месторождения. Нахождение урано-ванадатов, закономерно приуроченных к определенному стратиграфическому горизонту, наличие остатков органических веществ (фауны или флоры) должны навести на мысль о возможном образовании этих урано-ванадатов на месте существовавших здесь ранее первичных минералов урана и ванадия. Выше было показано, что процесс образования таких первичных минералов протекает в щелочной среде, это должно сопровождаться нахождением во вмещающих породах карбоната кальция (если это не известняки). Присутствие, кроме того, сульфатов (гипса, шрекингерита и др.), которые тесно ассоциируют с урано-ванадатами, локализованными в определенном стратиграфическом горизонте, позволяет сделать заключение о сингенетическом образовании данного месторождения. В соответствии с таким выводом при обнаружении богатых руд можно смелее проектировать проведение здесь серьезных геолого-разведочных работ.

В противоположность описанному случаю можно привести другой, когда вполне закономерно сделать обратные выводы. Так, если обнаружены урано-ванадаты, приуроченные на поверхности к различным по литологическому составу и стратиграфической принадлежности породам и притом таким, которые либо являются химически отложенными осадками (доломиты, гипсы и др.), либо не содержат никаких остатков органического вещества, то вероятнее предположить эпигенетическое происхождение этих урано-ванадатов с отложением их поверхностными водами. Отсутствие остатков органического вещества должно зародить сомнение в возможности значительной концентрации урана. Наличие в этом случае гипса или других солей, даже тесно ассоциирующих с урано-ванадатами, требует разрешения вопроса, не возникли ли эти соли в итоге почвенных процессов.

В эпигенетических месторождениях отсутствие факторов, способствующих концентрации урана, обусловит очень низкое (не больше тысячных долей процента) содержание окиси урана, гораздо более низкое, чем в выщелоченных поверхностных зонах сингенетических месторождений, где оно достигает 0,01—0,02 и до 0,03%.

Это последнее обстоятельство связано с формой выделения урано-ванадатов в урано-ванадиевых месторождениях различного генезиса и относится в равной мере к следующему заключительному разделу статьи, к изложению которого мы и перейдем.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УРАНО-ВАНАДИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ВЫХОДАМ ИХ НА ПОВЕРХНОСТЬ

При описании различных типов урано-ванадиевых месторождений отмечалось, что на поверхностных выходах урано-ванадиевые минералы представлены очень скудно. В одних месторождениях

это объясняется тем, что тюямунит и карнотит на поверхности в значительной мере выщелочены, в других — тем, что их первоначально было очень мало. Совершенно естественно поэтому, что для оценки месторождения очень важно решить, имеем ли мы дело с выщелоченной на поверхности рудой, или такой она была всегда. Решить этот вопрос нетрудно, если учесть, как возникают урано-ванадаты в месторождениях различного генезиса.

В месторождениях сингенетического происхождения распределение первичных минералов урана и ванадия среди других составных частей породы является сравнительно равномерным. Окисление этих минералов происходит на месте, образующаяся серная кислота также на месте нейтрализуется карбонатом кальция, и здесь же выпадают вторичные урано-ванадаты. В дальнейшем последние растворяются водой, несколько обогащенной углекислотой, и частично выносятся из месторождений, отчасти же переотлагаются, когда раствор бикарбоната кальция с урано-ванадатами попадает в трещинки породы и появляются условия, благоприятствующие выделению из раствора углекислоты. Таким образом, наряду с обеднением руд в процессе окисления происходит также процесс удаления урано-ванадатов из внутренних частей породы и переотложения их, преимущественно по трещинкам. Этот процесс, однако, практически до конца не идет, и даже на поверхностных выходах месторождений подобного типа внутри породы остаются урано-ванадаты. Этим объясняется то, что на выходах урано-ванадаты наблюдаются не только на плоскостях трещин, но и внутри пород. Отсюда становится понятным тот факт, что порошки образцов, взятых из выщелоченных участков таких месторождений, при измерении с помощью альфа-электроскопа показывают заметное содержание окиси урана.

Изложенное вместе с тем объясняет, почему в месторождениях эпигенетического происхождения, где урано-ванадаты привносятся поверхностными водами, тюямунит и карнотит выделяются только на плоскостях трещин в породах, образуя тончайшие пленки. По внешнему виду такие образцы производят эффектное впечатление, но при измельчении их в порошок и последующем промере их альфа-электроскопом получаются либо нулевые результаты, либо тысячные доли процента окиси урана.

Итак, при оценке урано-ванадиевого месторождения по поверхностным выходам одним из главных факторов является распределение урано-ванадатов в породе. Наличие только тонких примазок урано-ванадатов на плоскостях трещин в породе является неблагоприятным признаком. Наоборот, благоприятным признаком является наличие урано-ванадатов внутри породы.

Последний признак, приуроченность оруденения к определенному стратиграфическому горизонту, ассоциация вторичных урано-ванадатов с сульфатами не почвенного происхождения, а связанными с процессом образования этих урано-ванадатов — все это позволяет положительно оценивать перспективы место-

рождения и намечать серьезные геолого-разведочные работы для вскрытия оруденения на глубине.

Большое значение при этом имеет также наличие толщи мало водопроницаемых глин и мергелей над рудоносным горизонтом, что предохраняет рудные минералы от интенсивного выщелачивания.

В некоторых урано-ванадиевых месторождениях благоприятным *признаком* является также обохренность пород, так как бурый железняк местами маскирует водные соединения ванадия, однако этот признак не имеет универсального значения.

В. В. Щербина

КРИТЕРИИ ДЛЯ ПОИСКОВ КАРНОТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Урано-ванадаты в геохимическом отношении характеризуются рядом отличительных особенностей, заключающихся в следующем:

1. Будучи минералами осадочных пород, урано-ванадаты встречаются только в весьма ограниченном числе типов осадков — в песчаниках с карбонатным цементом, органогенных известняках, конгломератах, кремнисто-углистых сланцах и редко в некоторых глинистых породах, где они обычно не образуют промышленных концентраций.

2. Очень характерной для урано-ванадатов является их приуроченность только к тем географическим областям, которые характеризуются сухим жарким климатом.

3. Для образования урано-ванадатов требуются строго определенные фациальные условия — в нормальный ряд хемогенных осадков урано-ванадаты не укладываются.

4. В геологическом разрезе урано-ванадаты занимают определенное положение. Месторождения, имеющие промышленное значение, обычно приурочены к определенным стратиграфическим горизонтам. На поверхностных выходах урано-ванадаты представлены скудно.

5. Как отмечали уже более ранние исследователи, урано-ванадаты являются своеобразными аналогами цеолитов, обладающими способностью к легкой отдаче воды, к катионному обмену. Они образуются в псевдотермальных условиях жаркого полупустынного климата. Роль глинозема и кремнекислоты цеолитов в карнотитах играют соответственно UO_3 и V_2O_5.

Эти особенности и то обстоятельство, что в общем балансе запасов мировых урановых месторождений урано-ванадаты занимают третье место, являясь одной из характерных форм концентраций урана — все это заставило провести крупные эксперимен-

тальные работы, тесно увязав их с полевыми геологическими наблюдениями.

Благодаря этому удалось значительно расширить наши представления по химии урано-ванадатов и на основе этого указать поисковые критерии для карнотитовых месторождений.

Произведенные экспериментальные исследования перечисляются ниже:

1. Изучение условий образования (осаждения) урано-ванадатов калия (карнотит), кальция (тюямунит), бария, натрия и лития.

2. Изучение условий растворимости урано-ванадатов: в водных растворах, в слабых кислотах, в растворах солей, в частности, в растворах карбонатов и бикарбонатов щелочей, в присутствии только CO_2 и в присутствии восстановителей, а также разлагаемости урано-ванадатов щелочами. Это легло в основу представлений об условиях переноса урана.

3. Изучение переноса урана: в форме сульфатов, карбонатов, двойных карбонатов и т. д., что было связано с большой серией опытов по гидрокарбонатному метасоматозу. Эти опыты подтвердили огромное значение карбонатной формы переноса урана.

4. Изучение окислительно-восстановительных реакций, как фактора концентрации урана и образования урано-ванадатов.

5. Изучение калий-кальциевого катионного обмена в ряду взаимозамещений карнотит $\rightleftarrows$ тюямунит и изучение вопроса являются ли урано-ванадаты комплексом или двойной солью.

Все эти опыты позволили с достаточной определенностью говорить о миграционной способности урана, об условиях его переноса и концентрации, что является очень важным для теоретического обоснования поисковых критериев.

Не вдаваясь в детали произведенных опытов, полученные результаты можно резюмировать следующим образом.

Образование урано-ванадатов протекает с большой легкостью; слабое нагревание, безусловно, способствует течению этой реакции. Урано-ванадаты могут получаться в результате:

а) Взаимодействия растворимых ванадатов (и видимо вообще ванадатов в присутствии солей калия и кальция) и солей уранила, например, сульфата шестивалентного урана (сернокислого уранила) — UO_2SO_4:

$$Ca_3V_2O_8 + 2UO_2SO_4 \rightarrow \underset{\text{тюямунит}}{Ca(UO_2)_2U_2O_8} + \underset{\text{гипс}}{2CaSO_4}$$

б) Взаимодействия уранатов щелочей с растворимыми ванадатами, например:

$$K_2U_2O_7 + 2NH_4VO_3 \rightarrow \underset{\text{карнотит}}{K_2(UO_2)_2V_2O_8} + 2NH_3 + H_2O$$

в) Взаимодействия двойного карбоната урана и щелочей с V_2O_5:

$$2K_4UO_2(CO_3) + V_2O_5 + 3H_2O \rightarrow \underset{\text{карнотит}}{K_2(UO_2)_2V_2O_8} + 6KHCO_3$$

Образующийся при этом щелочной бикарбонат затрудняет выпадение урано-ванадата и способствует сохранению его в значительных количествах в растворе (см. ниже).

г) Окисления в присутствии избыточного $CaCO_3$ восстановленных соединений ванадия и урана:

$$2V^{4+} + U^{6+} \rightleftarrows U^{4+} + 2V^{5+}$$

в кислой среде — в слабощелочной

Образовавшийся черный осадок в результате продолжительного соприкосновения с кислородом воздуха постепенно перешел в оливково-зеленые, видимо промежуточные продукты окисления, реально наблюдаемые на месторождениях урано-ванадатов, образовавшихся в результате тут же присутствующей урановой черни. В дальнейшем зеленые соединения, окислившись, дали нормальный лимонно-желтый тюямунит, полностью повторяя геохимический процесс во всех его стадиях, реально встречающихся в природе.

Кроме урано-ванадатов калия и кальция, были синтезированы урано-ванадаты бария (так как барий в заметных количествах встречается в некоторых тюямунитах) и урано-ванадаты натрия и лития для сопоставления их свойств со свойствами калиевого урано-ванадата — нормального карнотита. Как и следовало ожидать эти соединения обладают значительной растворимостью по сравнению с калиевым соединением, что, видимо, и объясняет их отсутствие в природе. При этом литиевый урано-ванадат показал сильную гидролизуемость, образуя нацело замещенный водородом продукт, условно нами названный «карнотитовой кислотой». При взаимодействии с калиевыми и кальциевыми солями «карнотитовая кислота» дала карнотит и тюямунит нормального состава.

Любопытно отметить, что в очень многих из синтезированных нами искусственных урано-ванадиевых минералов наблюдалась нехватка щелочей (калия или кальция) и, как правило, постоянно пониженное против формулы содержание воды. Наоборот, соотношение между ураном и ванадием было всегда почти теоретическим, чато дает повод предполагать, что в случае урано-ванадатов мы имеем не двойную соль, а комплексное соединение. За это же говорит и то, что при очень большой легкости замещения калия или кальция ванадий и уран не удается разделить подобными реакциями замещения или отнять ванадий из урано-ванадата катионами типа свинца или ртути, дающих трудно растворимые ванадаты. То обстоятельство, что даже самые чувствительные реагенты на уран и ванадий не дают реакции с «насыщенным раствором» карнотита, как и все вышеприведенные факты, говорит за то, что урано-ванадаты относятся скорее к числу комплексных соединений, чем к числу труднорастворимых двойных солей, или точнее — к комплексным соединениям со сравнительно мало устойчивым комплексом, примыкающим к переходным соединениям, которые в равной мере могут быть отнесены как к одной, так и к другой группе соединений.

Хотя в образовании урано-ванадата взаимодействуют и уран и ванадий, тем не менее из анализа природных парагенетических ассоциаций, из наблюдений при синтезе урано-ванадатов можно было сделать вывод: не урановые минералы являются осадителем ванадия, но ванадиевые минералы являются осадителем урана.

Условиями, препятствующими для образования урано-ванадатов, являются все химические процессы, приводящие к растворению или разложению урано-ванадатов, и в первую очередь изменение кислотности среды. Урано-ванадаты образуются из нейтральных или слабо щелочных растворов.

В кислых (и даже слабо кислых) растворах урано-ванадаты разлагаются по схеме:

$$Ca(UO_2)_2 V_2 O_8 + 3H_2 SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2UO_2 SO_4 + 2H_3 VO_4$$

С другой стороны, в заметно-щелочных растворах урано-ванадаты также разлагаются, но в данном случае не растворяются, как в предыдущем, а реагируют с выпадением уранатов, например:

$$K_2 (UO_2)_2 V_2 O_8 + 6KOH \rightarrow \underset{\text{осадок}}{K_2 U_2 O_7} + \underset{\text{раствор}}{K_3 VO_4} + 3H_2O$$

Как уже отмечалось при разборе синтеза с карбонатами, наличие карбонатов и бикарбонатов щелочей способствует растворению (частичному) урано-ванадатов. Этот процесс изучался еще в 1918 г. Нотештейном в Америке, но сущность происходящих при этом реакций не вполне ясна. Столь глубокого и полного разложения, как в двух предыдущих случаях, здесь не происходит. Скорее можно допустить образование каких-то двойных солей, но может быть и обратимую реакцию, протекающую в сторону растворения урано-ванадата только при значительном преобладании Na_2CO_3 (или $NaHCO_3$) и в очень больших объемах воды по предполагаемой схеме:

$$K_2 (UO_2)_2 V_2 O_8 + 6Na_2 CO_3 \rightleftarrows 2Na_2 KVO_4 + 2Na_4 UO_2 (CO_3)_2$$

которая является только одним из возможных вариантов этого процесса. Так или иначе, карбонаты в этом процессе играют определенную роль, и это приходится учитывать при изучении в природе процессов переотложения или выноса урано-ванадатов.

Наряду с карбонатами, но в меньшей мере так же реагируют и бикарбонаты. Сама по себе углекислота, в природных условиях, может осуществлять эту реакцию в щелочной среде, за счет которой могут получаться соответствующие углекислые или двууглекислые соединения.

Большие количества не углекислых, а других щелочных солей и в частности хлористых, с геологической точки зрения представляющие вполне конкретный интерес в вопросе образования урано-ванадатов из морской воды или даже соленого озера, подобного растворяющего действия не оказывают.

Полное и глубокое разложение урано-ванадатов производят

восстановители, в кислой или в щелочной среде способные восстанавливать ванадий или уран (до урановой черни). Обратный процесс может протекать только в обстановке окислительной среды, при условии, конечно, что в результате миграции уран и ванадий не разделились.

Простое растворение в воде экспериментально удалось наблюдать только для натриевого и литиевого урано-ванадатов. Мнение геологов, что вообще урано-ванадаты представляют собой сравнительно легко растворимые в воде соединения, должно быть дополнено тем, что природные воды и особенно жарких засушливых районов содержат в себе достаточное количество углекислых солей, чтобы за их счет объяснить перенос урано-ванадата.

Приведенные данные в значительной степени дают и ответ на вопрос о формах переноса урана. Анализ протекающих в природе процессов послужил основанием для постановки экспериментальных работ по этому разделу. Таким образом, в связи с изучением переноса урана в зоне гипергенеза, наметились следующие возможные формы его переноса:

а) В форме сернокислой соли — UO_2SO_4.

б) В форме углекислых соединений — UO_2CO_3 и преимущественно в виде $Na_4UO_2(CO_3)_3$ или соответствующей калийной соли.

в) В коллоидной форме — в виде частицы среднего состава $[UO_2(OH)_2]_{20}$, заряженной отрицательно и обладающей зарядом $1{,}984 \cdot 10^{-8}$ электростатических единиц. (Приводимые цифровые данные по коллоидной $UO_2(OH)_2$ заимствованы из работ С. И. Дьячковского — 1926 г.).

Первая из них, реально образующаяся в зоне окисления содержащих сульфиды гидротермальных месторождений урана, подтверждается наличием в природе 7—8 сульфатных минералов урана.

Однако сульфатная форма переноса урана является достаточно ограниченной в результате двух причин:

1) легкой гидролизуемости сульфата уранила, которая иллюстрируется природным рядом сульфатов урана:

	Степень гидролизованности $\frac{(OH)_2}{SO_4}$
Меджидит $Ca(UO_2)(SO_4)_2 \cdot 15H_2O$	0
Иоганнит	1
Циппеит $(UO_2)_2SO_4(OH)_2\ 4H_2O$	
Ураконит $(UO_2)_3SO_4(OH)_4 \cdot 12H_2O$	2
Уранопилит $(UO_2)_6SO_4(OH)_{10}\ 5—12H_2O$	5

2) легкого взаимодействия UO_2SO_4 с соединениями более сильных оснований, способных у урана отнимать SO_4 (например $CaCO_3$, $MgCO_3$ и т. д.) по схеме:

$$UO_2SO_4 + CaCO_3 \longrightarrow CaSO_4 + UO_2CO_3$$

Эта реакция, равно как и приведенные выше данные по растворимости урана в карбонатной среде, заставили провести большую серию опытов с сернокислыми и хлористыми солями шестивалентного урана, с одной стороны, и углекислыми солями кальция, магния, марганца, цинка и свинца, с другой стороны и карбоната урана, наоборот, с сульфатами и хлоридами этих металлов.

Произведенные опыты показали, что течение реакции более сложно, чем это выражается схемой:

$$UO_2Cl_2 + MgCO_3 \rightleftarrows MgCl_2 + UO_2CO_3,$$

ибо количество осадка отнюдь не соответствует стехиометрическим соотношениям, а ничтожно мало и изменяется от опыта к опыту. Последнее удалось объяснить тем, что UO_2CO_3 сравнительно хорошо растворим и количество образовавшегося осадка зависит от объема растворителя. С другой стороны, если изучены соли $Na_4UO_2(CO_3)_3$ и $K_4(UO_2)(CO_3)_3$ (причем натровая соль при 15° обладает растворимость 7,4 *г* соли в 100 *г* воды), то соответствующие соединения с Mg, Ca и другими металлами еще не изучены, кроме природных минералов ураноталлита $CaUO_2(CO_3)_2 10H_2O$ и фоглита $CuUO_2(CO_3)_2\ 10H_2O$.

Произведенные опыты, показавшие почти полную растворимость $CaCO_3$ и $MgCO_3$ в растворе солей уранила (осадка почти не оставалось), заставляют предположить существование относительно легко растворимых двойных карбонатов $UO_2CO_3 \times CaCO_3$ и $UO_2CO_3 \times MgCO_3$, а с другой стороны, объяснить отсутствие осадка нетрудной растворимостью образующегося по реакции UO_2CO_3.

Геохимическое значение карбонатной формы переноса урана очень велико, так как определяет устойчивость урана в растворах, способность его миграции в слабо щелочных карбонатных растворах и в толще известняков.

Выпадение урана из растворов его двойных карбонатных солей, как показали исследования, может протекать в результате следующих реакций:

а) Предварительного разрушения карбонатного иона в кислой среде и перевода тем самым урана в другие соединения.

б) Взаимодействия с довольно щелочными растворами, приводящими к выпадению ураната:

$$2\ Na_4UO_2(CO_3)_3 + 6\ NaOH \longrightarrow Na_2U_2O_7 + 6\ Na_2CO_3 + 3\ H_2O$$

Столь высокая щелочность трудно осуществима в природных условиях и может иметь только локальное значение.

в) Взаимодействия пятиокиси ванадия V_2O_5 с $K_4UO_2(CO_3)_3$, которое приводит к частичному выпадению карнотита. При этом выделения углекислоты не наблюдается, что может объясняться реакцией:

$$2\ H_3VO_4 + K_4UO_2(CO_3)_3 \longrightarrow K_2(UO_2)_2V_2O_8 + 6\ KHCO_3$$

г) Выпадения урана из карбонатных растворов в виде урановой черни, которое происходит под действием восстановителей (закисное железо в щелочной среде и другие неорганические соединения, а также большое число органических восстановителей).

Последняя группа реакций связывается с изучением окислительно-восстановительных реакций как фактора концентрации урана.

Концентрация урана в результате процессов восстановления и перехода его в четырехвалентные соединения обусловлена тем, что гидролизуемость $U(SO_4)_2$ больше, чем UO_2SO_4 и наступает уже при значительно меньших значениях pH. В силу этого в тех условиях, когда UO_2SO_4 сохраняется в растворе и не концентрируется, $U(SO_4)_2$ гидролизуется:

$$U(SO_4)_2 + 2\ H_2O \rightleftarrows U(OH)_2SO_4 + H_2SO_4$$

$$U(OH)_2SO_4 + 2\ H_2O \rightleftarrows U(OH)_4 + H_2SO_4$$

$$U(OH)_4 \longrightarrow UO_2nH_2O + H_2O.$$

Последнее соединение и представляет собой урановую чернь.

Концентрация урана в результате процессов окисления обусловлена в основном переходом четырехвалентного восстановленного ванадия в окисленный пятивалентный. Если четырехвалентный ванадий в присутствии солей калия или кальция совершенно не осаждает урана, то, как только он переходит в пятивалентную форму, немедленно начинается выпадение карнотита. Эта реакция очень важна для установления того поискового признака, что карнотиты образуются в условиях окислительной обстановки. Отсутствие восстановительных органических веществ почвы, разлагающихся быстро в жарком климате при недостатке влаги, и определяет собой окислительную обстановку, благоприятную для образования карнотита.

Последняя группа опытов была проделана по изучению калий-кальциевого катионного обмена в системе карнотит-тюямунит.

Если в минералах цеолитного характера натрий (и калий) легко вытесняются кальцием, то в урано-ванадатах кальций тюямунита легко вытесняется калием и, наоборот, калий карнотита значительно труднее вытесняется кальцием. При эквивалентном соотношении в растворе калия и кальция выпадает преимущественно карнотит.

Таким образом, реакция, видимо, течет слева направо:

$$Ca(UO_2)_2V_2O_8 + 2\ K^{1+} \rightleftarrows K_2(UO_2)_2V_2O_8 + Ca^{2+},$$

т. е. константа равновесия K больше единицы

$$K = \frac{[K_2(UO_2)_2V_2O_8]\ [Ca^{2+}]}{[Ca(UO_2)_2V_2O_8]\ [K^{1+}]^2} > 1$$

Сопоставление вышеописанных экспериментальных данных с природными наблюдениями позволяет высказать ряд положений о поисковых критериях карнотитовых месторождений.

Выводы

1. Образование карнотитовых месторождений приурочено к определенным урановосным провинциям.

Совершенно очевидно, для того чтобы образовалось карнотитовое месторождение, требуется источник урана в виде повышенного содержания его в горных породах района и заключенных в них жильных формациях.

2. Одним из необходимых условий для образования карнотитовых месторождений, видимо, будет наличие восстановительных химических агентов в толще осадков, содержащих карнотиты. Такими восстановительными веществами являются разлагающаяся древесина, некоторые битумы и, возможно, соединения закисного железа в щелочной среде или некоторые сернистые соединения.

Они вызывали первичную концентрацию урана, видимо, в форме его четырехвалентных соединений, позже окислившихся и образовавших урано-ванадаты.

Таким образом, наличие древесных остатков в песчаниках или битумов в известняках является благоприятным фактором для отыскания карнотитовых месторождений.

3. Необходимым условием для образования урано-ванадатов, как таковых, является наличие сухого жаркого климата, способствующего окислению и разрушению гуминовых кислот почвы (которые могут растворять и восстанавливать урано-ванадаты) и способствующего созданию слабощелочной среды, в которой урано-ванадаты устойчивы. Кроме того, в щелочной среде окисление кислородом воздуха протекает легче и скорее, чем в кислой, что играет роль в превращении первичных урановых осадков в урано-ванадаты.

4. Образованию карнотита противопоказаны кислая среда, наличие закисных железистых соединений и восстановительных агентов.

5. Возраст осадков, вмещающих карнотитовые месторождения, обычно не старше юры (карнотиты, выполняющие трещины в силурийских кремнистых сланцах, безусловно, значительно моложе вмещающих пород).

6. Карнотиты обычно находятся в верхних частях пласта, но непосредственно на дневной поверхности представлены скудно. Благодаря их сравнительно высокой растворимости нужно бывает снять не менее 10—15 *см* поверхностного слоя и более, чтобы обнаружить значительные количества желтого карнотита и тюямунита.

7. Урано-ванадаты обычно выполняют трещины во вмещающих

породах, образуют ярко-желтые примазки и налеты или в песчанике небольшие гнезда и гнездышки и тонкие пропластки, окрашенные в ярко желтый цвет, по которому эти месторождения могут быть легко замечены.

8. Урано-ванадиевые месторождения фациально близки к осадочным месторождениям меди (медистые песчаники), с которыми они часто находятся также и в территориальной близости.

9. Урано-ванадиевые месторождения характеризуются следующими минералами-спутниками: гипс, кальцит, ванадаты кальция и некоторые ванадаты меди (например узбекит), малахит, бурые железняки, шрекингерит и др.

М. Д. Кравченко

ИОНИЗАЦИЯ ВОЗДУХА КАК ПОИСКОВЫЙ КРИТЕРИЙ

Задачей настоящей работы является познакомить читателя с одним из методов, при помощи которого можно обнаруживать площади и участки, зараженные радиоактивностью, а также ознакомить с результатами, полученными при применении этого метода во время исследования некоторых месторождений. В данном случае воздушные ионы рассматриваются в качестве индикатора месторождений радиоактивных элементов. Сравнительно небольшая продолжительность жизни легких ионов (50—60 сек.) дает представление о небольшом радиусе их действия. Следовательно, различная концентрация легких ионов, наблюдаемая при прохождении того или иного маршрута, может дать указание на локализацию источника ионизации. Однако, поскольку ионизация воздуха зависит от метеорологических элементов и прежде всего от направления и скорости ветра, то представляется, что воздушные ионы могут быть поисковым критерием широкого регионального порядка.

Первые работы в этом направлении были поставлены А. П. Снесаревым [12] в 1914 г. В результате этих работ было обнаружено месторождение радиоактивных руд. В 1924 г. В. И. Барановым были произведены исследования ионизации воздуха на двух уже известных месторождениях радиоактивных руд. В результате этих исследований был выявлен суточный ход ионизации воздуха. В 1927 г. были поставлены работы на одном из месторождений [11], но результаты носили отрицательный характер.

Более подробное ознакомление показало, что эти выводы являются сугубо предварительными и сделаны без камеральной обработки и анализа полученных материалов. В 1926 г. В. И. Баранову удалось установить связь ионизации воздуха с радиоактивностью пород в местах наблюдения, но картина получалась расплывчатой вследствие постоянного движения воздуха. Летом 1932 г. им же были произведены наблюдения ионизации воздуха

с прибором Эберта на одном из месторождений, где находилась нефтяная самоизливающаяся скважина. Радиоактивные отложения на поверхности земли около скважины являлись источником ионизации. При удалении от скважины в направлении ветра В. И. Баранову [5] удалось установить закономерное убывание числа легких ионов.

В дальнейшем В. И. Барановым и Д. И. Щербаковым было решено апробировать аэроионометрический метод как поисковый. Работу в этом направлении проводил автор настоящей статьи.

Методика работ и аппаратура

Для решения поставленной задачи на различных месторождениях был осуществлен ряд маршрутов общей протяженностью 25 *км* и, кроме того, были организованы измерения ионизации воздуха полустационарного характера. Исследования ионизации воздуха производились с учетом метеорологических элементов, а именно наблюдались направление и скорость ветра, температура и влажность воздуха.

Необходимо также указать, что в качестве критерия «нормальной» ионизации воздуха были организованы измерения ионизации воздуха на контрольном пункте.

Измерения ионизации воздуха в этом пункте производились перед выездом на месторождения того или иного типа.

Для измерения ионизации воздуха были использованы два счетчика Эберта фирмы Гютнер и Тегетмейер.

Методика и техника измерений ионов со счетчиками Эберта подробно изложена в инструкции В. И. Баранова [3].

Перед выездом в экспедицию оба прибора были проградуированы с нормальными батареями в Москве в лаборатории имени В. И. Вернадского Академии наук СССР, а также вновь была определена электроемкость приборов с конденсатором Гармса. У одного прибора электроемкость составляла 10 *см*, а у второго она была равна 9,1 *см*. Кроме того, приборы до начала и во время полевого сезона сравнивались между собой. Число легких ионов в 1 $см^3$ воздуха определялось по формуле:

$$n = \frac{C}{300\ м\ E}\ (V_0 - V_1),$$

где C — электроемкость прибора;

$м$ — объем протянутого воздуха;

E — элементарный электрический заряд, равный $4{,}77\ 10^{-10}$ электростатических единиц;

V_0 — начальный потенциал в вольтах;

V_1 — потенциал через 10 минут после просасывания воздуха.

Деление на 300 дает значение потенциала в электростатических единицах.

Из определения потери потенциала за единицу времени при работающем вентиляторе необходимо вычесть величину натурального рассеяния, которая определяется при закрытой трубе и не работающем вентиляторе.

При измерениях числа легких ионов было принято во внимание влияние медленных ионов. Как известно, число легких ионов, определенное счетчиком Эберта, всегда преувеличено за счет влияния ионов средней и малой подвижности. Ошибка эта при некоторых условиях достигает десятков и сотен процентов. Чтобы избежать этой ошибки, В. И. Барановым в 1926 г. был предложен следующий метод: при наблюдениях со счетчиком Эберта после измерений рассеяния производится еще добавочное измерение спадения заряда при работающем аспираторе под влиянием медленных ионов. При этом на прибор надевается дополнительный конденсатор, предназначенный для определения подвижности ионов, который заряжается при помощи батареи до потенциала не менее 40 вольт тем же знаком, каким заряжен главный конденсатор. Это наблюдение и дает поправку на влияние медленных ионов.

С целью выяснить, насколько велика ошибка при измерениях числа легких ионов за счет влияния медленных ионов, нами были использованы материалы, полученные в 1927 г. на различных месторождениях радиоактивных руд. Оказалось, что эта ошибка не столь велика. Для ста взятых нами измерений она не превышала 10%. Поэтому при наших исследованиях представлялось целесообразным не производить дополнительных измерений, так как это увеличило бы продолжительность измерений почти в два раза, тогда как ошибка в 10% не имеет столь существенного значения для решения поставленной перед нами задачи.

Для выяснения механизма ионизации воздуха в условиях обследуемых нами месторождений параллельно с измерением числа легких ионов определялась величина интенсивности ионообразования, равная числу ионов одного знака, образующихся в 1 сек, в 1 $см^3$ воздуха. Для исследования величины интенсивности ионообразования был применен метод измерения тока насыщения в бумажной камере, которым пользовались J. J. Nolan, R. K. Boylan и de Sachy [14], а также В. И. Баранов и М. Д. Кравченко [7].

Метод этот был применен как наиболее близкий к естественным условиям и не требующий сложной аппаратуры, что чрезвычайно важно в полевой обстановке.

Объем бумажной камеры равнялся 22 *л*. С внутренней стороны камера была покрыта проводящим слоем графита. По оси камеры располагался латунный электрод, оклеенный бумагой, чтобы избежать действия альфа-излучения радиоактивных загрязнений металла. Электрод соединялся с двунитным электрометром Вульфа. Вычисления фактора интенсивности ионообразования производились по формуле:

$$q = \frac{C}{300\ W\ E} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t},$$

где q — интенсивность ионообразования;

C — электроемкость установки, равная 9 *см*;

W — объем камеры, равный 22 *л*;

E — элементарный электрический заряд, равный $4{,}77 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц;

ΔV — падение потенциала в вольтах за время Δt в секундах

Все измерения интенсивности ионообразования и числа легких ионов производились на высоте приблизительно 0,5 *м* от земной поверхности.

На контрольном пункте, находящемся вне рудных объектов, производились сравнительные измерения интенсивности ионообразования и числа легких ионов.

Скорость ветра определялась анемометром Фусса на высоте 1,5 *м* от земной поверхности. Обычно в течение одной серии измерений ионизации воздуха три раза определялась скорость ветра. Каждое определение происходило через 100 сек. после того, как был пущен анемометр. Средняя скорость ветра вычислялась как средняя из трех отсчетов. Направление ветра определялось по вымпелу и компасу. Измерения температуры и влажности воздуха чаще всего производились при наблюдении суточного хода ионизации воздуха и интенсивности ионообразования. При этом использовался психрометр Асмана большой модели. Все особые явления погоды, как то гроза, дождь и т. д., также отмечались.

Результаты измерений

Первые опытные работы были поставлены на наиболее геологически изученном урано-радиевом месторождении.

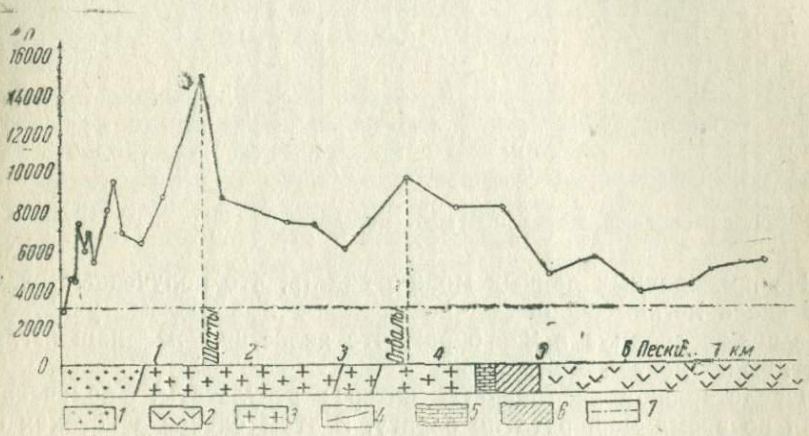
Рельеф района месторождения представляет собой довольно спокойную, мелкосопочную щебенчатую полупустыню с сухими оврагами или долинами. Над уровнем моря район месторождения расположен на высоте 1200—1400 *м*.

Породы этого месторождения состоят из гранит- и гранодиорит- порфиров, крупнозернистых порфировидных гранитов и гранодиоритов. Кроме того, наблюдаются еще жильные породы: фельзиты, лампрофиры и диабазовые порфириты. В целом месторождение представляет собой огромное, вытянутое в общем в северо-восточном направлении жильное поле.

Площадь месторождения разделяется на два участка: восточный и западный. Наиболее крупной жилой последнего участка является жила А, которая прослеживается по всей площади месторождения более чем на 6 *км*. Признаков уранового оруденения в ней, по настоящее время, не замечено. Южнее жилы А в пределах западного участка известен ряд крупных минерализованных разломов. На дневной поверхности они выражаются в виде сложных ветвящихся кварцево-баритовых жил, сопровождающихся

урановыми слюдками, урансодержащими гиалитами и другими вторичными урановыми минералами.

На площади восточного участка резко выделяется жила Б, прослеженная на расстоянии 2 *км*. В этой жиле и во вмещающих ее горных породах имеется урановое оруденение, представленное урановыми слюдками. Жила приурочена к древнему руднику, расположенному в верхней части оврага на склонах горы. В районе рудника, на небольшом плато, были организованы полустационарные наблюдения по ионизации и интенсивности ионообразования, а также метеорологических элементов. Пункт этот был достаточно удален от известных рудных объектов.



Фиг. 1. Профиль аэроионометрической съемки по маршруту 7,5 км

1—гранодиорит-порфиры; *2*—меловые породы; *3*—гранодиориты кураминские; *4*—жильные зоны; *5*—известняки; *6*—эффузивы; *7*—среднее число ионов на контрольном пункте.

Во время работы нами был пройден маршрут общей протяженностью 7,5 *км* по направлению с северо-востока на юго-запад. Полученные результаты, представленные в табл. 1 и на фиг. 1, достаточно ясно показали повышенную ионизацию воздуха над отдельными участками пройденного маршрута. Эти участки приурочены к рудным телам или отвалам рудных тел, причем повышение ионизации воздуха довольно значительное (6 000 — 8 000 ионов в 1 $м^3$ воздуха)[1].

В ряде случаев концентрация ионов доходила до 12 000—15 000. В качестве «нормы» на фиг. 1 нанесено, в виде горизонтальной прямой, среднее число легких ионов по наблюдениям на контрольном пункте, равное 3 000 ионов в 1 $см^3$.

[1] В работе везде приводится сумма положительных и отрицательных ионов: $n = n_+ + n_-$.

Таблица 1

$n-$

№ п/п	Расстояние от начальной точки в *м*	$n=n_+ + n_-$	№ п/п	Расстояние от начальной точки в *м*	$n=n_+ + n_-$
1	0	2 800	15	1 700	8 610
2	100	4 500	16	2 400	7 864
3	150	4 300	17	2 700	7 315
4	200	7 500	18	3 000	4 200
5	250	8 000	19	3 700	9 765*
6	300	8 000	20	4 200	8 179
7	350	9 800*	21	4 700	8 400
8	500	6 700	22	5 200	4 655
9	575	7 350	23	5 700	5 670
10	650	6 300	24	6 200	3 710
11	725	8 400	25	6 700	4 172
12	925	15 100*	26	6 900	5 117
13	1120	8 610	27	7 500	5 621
14	1500	7 364			

* Точка расположена вблизи рудных отвалов.

Из приведенных данных можно видеть, что полученные значения числа легких ионов над восточным и западным участками превышают «норму» в 2 — 5 раз, что является, на наш взгляд, достаточно показательным.

Представляют несомненный интерес результаты, полученные нами во время маршрута по оврагу. В этом случае в истоках оврага наблюдается сравнительно невысокая ионизация воздуха, затем ряд пиков, приуроченных к рудным объектам, расположенным по пути маршрута, и сравнительно ровный повышенный ход кривой ионизации на протяжении приблизительно 500 *м*. Этот повышенный ход ионизации (число легких ионов порядка 6 000) рассматривается нами как результат действия ореолов рассеяния рудных тел, расположенных выше и приуроченных к оврагу.

Максимальная концентрация легких ионов по оврагу была обнаружена над отвалами и равнялась 12 000 ионов в 1 $см^3$ воздуха. Шаг во время маршрута составлял 100 — 150 *м*.

Кроме того, 31/VII 1945 г. был пройден маршрут по оврагу вкрест простирания жилы А, которая считается безрудной. Результаты представлены в табл. 2, из которой можно видеть, что по мере приближения к жиле А число легких ионов уменьшалось и в воротах жилы достигло почти нормальных значений.

Достаточно убедительные результаты были получены по маршруту, соединяющему два месторождения радиоактивных руд (№ 2 и № 3) на протяжении 4,6 *км*.

Месторождение № 2 расположено на горе и приурочено к зоне разлома в кварцевом порфире. Последний зеленовато- или фиолетово-серого цвета, часто с большим количеством порфировых

Таблица

Время (часы и минуты)	Расстояние от начальной точки в *м*	n_+	n_-	n	$\frac{n_+}{n_-}$	Направление ветра	Скорость ветра в *м/сек*	Примечание
7^h55^m	0	6 370	4 340	10 710	1,47	СВ	1,6	Вблизи разведанных канав рудной жилы
8^h40^m	200	4 160	2 310	6 470	1,80		штиль	
9^h30^m	350	3 200	3 034	6 234	1,05	ЮЮЗ	3,1	
9^h35^m	500	3 500	3 010	6 510	1,16	ЮЗ	3,0	
10^h30^m	650	2 201	1 280	3 481	1,72	ЮЮЗ	2,5	У ворот жилы № 1
10^h35^m	725	3 640	3 570	7 210	1,02	ЮЗ	2,3	На стыке двух лощин
10^h35^m	875	2 560	2 688	5 248	0,95	Ю	2,7	
10^h40^m	1075	3 290	2 730	6 020	1,21	Ю	2,3	

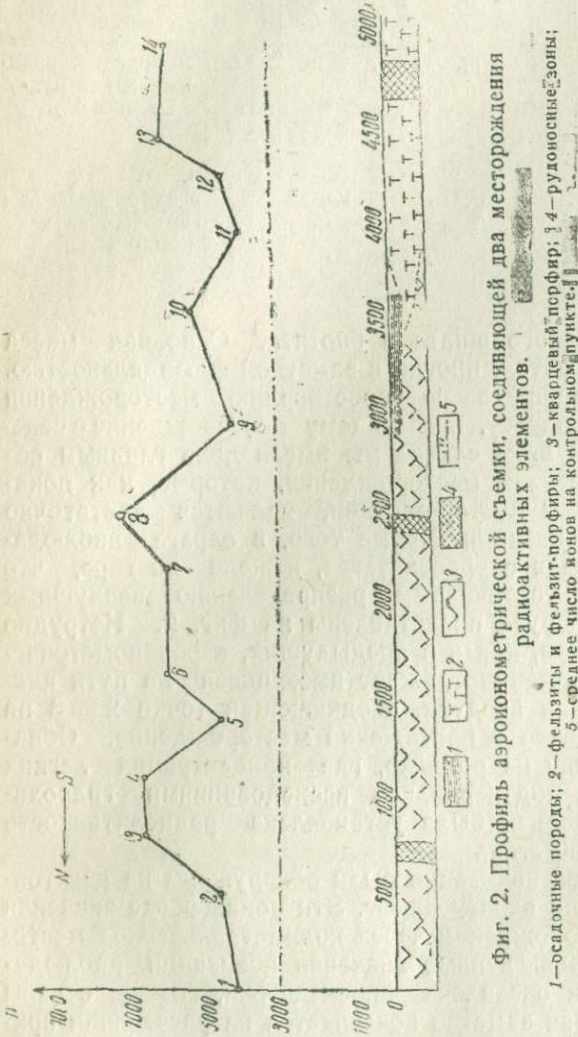
выделений кварца, полевого шпата и биотита. Основная масса фельзитовая или свекловатая, иногда с заметной флюидальностью. Точки стояния при маршруте по простиранию месторождения были расположены по оврагу, огибающему месторождение с северо-западной стороны. В этом случае мы имели дело главным образом с ореолами рассеяния месторождения, которые, как показал опыт на предыдущем месторождении, являются достаточно мощным источником ионизации. Кроме того, в овраге наблюдалась значительно меньшая скорость ветра, нежели на горе, что способствовало более устойчивому распределению воздушных ионов. Результаты маршрута представлены на фиг. 2. Нетрудно видеть, что в этом случае, как и в предыдущих, аэроионометрический метод достаточно четко отражает имеющиеся на пути аномалии. Кривая ионизации воздуха, соединяющая точки 2 — 8 на фиг. 2, дает представление о протяжении месторождения. Обнаруженная нами аномалия на роднике, где концентрация легких ионов равнялась 7 600, подтвердилась исследованиями гидрохимической партии. Последней была установлена радиоактивность воды родника, равная 50 *эман*.

Пониженные значения ионизации были обнаружены на расстоянии 500 *м* от родника по оврагу на юг. Эти пониженные значения выдерживаются при прохождении через полиметаллическое месторождение. Несколько повышенные значения ионизации наблюдались в овраге, где, как оказалось впоследствии, были отвалы руды. И, наконец, кривая заметно повышается на расстоянии приблизительно 200 *м* от месторождения № 3.

Значения ионизации остаются повышенными на разведочных канавах месторождения № 3. Месторождение № 3 сложено из серии кварцевых порфиров, фельзофиров и их туфов. Толща этих эффузивных пород прорезается системой даек темнозеленого порфира.

На данном месторождении перед нами была поставлена совершенно конкретная задача — применить метод аэроионометри-

ческой съемки с тем, чтобы дать представление о контурах данного месторождения. Для решения поставленной задачи был пройден ряд профилей, направление которых предварительно согласовывалось с геологами. Шаг по профилю не превышал 150 *м*. В большинстве случаев он равнялся 100 *м*.



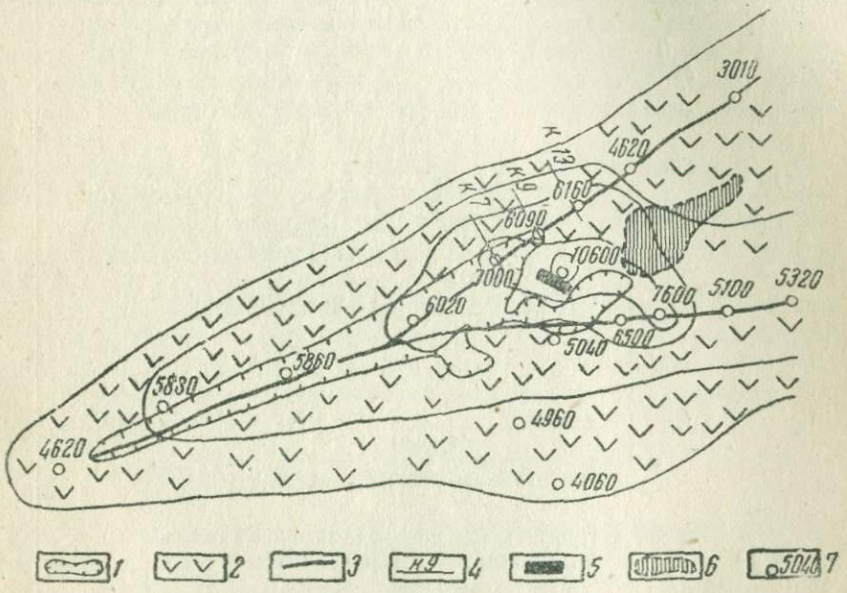
Фиг. 2. Профиль аэроионометрической съемки, соединяющей два месторождения радиоактивных элементов.

Схема расположения точек аэроионометрической съемки на месторождении и полученные результаты представлены на фиг. 3. При рассмотрении чертежа можно видеть, что поставленная перед нами задача была решена в положительном смысле. Полученные значения ионизации воздуха легли в определенной последовательности; максимальная концентрация легких ионов была обнаружена над штольней и равнялась 10 810 ионов в 1 *см*³ воздуха, по мере удаления от главной камеры число ионов убывает и примерно на расстоянии 200—300 *м* на северо-восток и юго-запад от главной камеры снижается до минимума 3 000 — 4 000 ионов в 1 *см*³ воздуха. В дальнейшем процессе работы там, где была обнаружена максимальная ионизация, были найдены минералы урановой слюдки.

Представляло интерес исследовать ионизацию воздуха внутри главной камеры. В этом случае наблюдались чрезвычайно высокие значения концентрации легких ионов, которые колебались в пределах от 14 000 до 30 000 ионов в 1 *см*³ воздуха.

Максимальные значения ионизации воздуха наблюдались вблизи стенки камеры, где были обнаружены минералы урановой слюдки.

В дальнейшем был пройден маршрут на расстоянии 18 *км* по дороге, соединяющей месторождения № 2 и № 4. Точки стояния находились на расстоянии 2 — 3 *км* друг от друга. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в большинстве случаев повышенная ионизация воздуха по маршруту приурочена к линиям разлома. Таким образом, измерения ионизации воздуха регионального порядка должны иметь значение в работе поисковых партий.

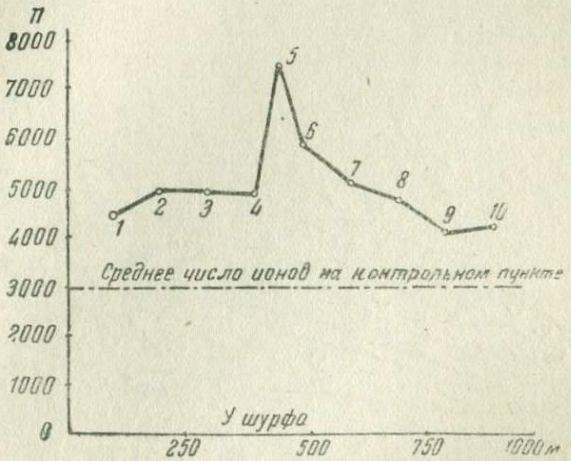


Фиг. 3. Схема расположения аэроионометрических точек и карта изолиний числа ионов.

1—контуры древних выработок; 2—эффузивные породы; 3—разломы; 4—место и номер канав; 5—штольня; 6—главная камера; 7—концентрация ионов в 1 см³ воздуха в точке стояния прибора.

Следующим объектом наших исследований было месторождение № 4. Объект представлял интерес как мало изученный и мало известный с точки зрения характера и масштабов оруденения. Горы к северу от месторождения высотой 100 — 150 *м* над уровнем оврага сложены эффузивными породами — флюидальными фельзофирами, туфами и туфобрекчиями, прорванными интрузией светлосерых кварцевых порфиров. На рудной площади сохранилась часть оболочки эффузивных пород в виде полос северо-восточного простирания, зажатых среди интрузивных кварцевых порфиров.

На месторождении разбросаны до 100 древних выработок, большинство которых имеет вид замытых ям с отвалами. В отвалах встречены кварц с медной зеленью, барит, галенит, а также был обнаружен урановый минерал казолит. Здесь были организованы аэроионометрические измерения по профилям: по простиранию рудного тела и несколько вкрест простирания с целью иметь представление о размерах поверхностного оруденения. Необходимо указать, что на площади месторождения были поставлены также другие виды геофизических работ: эманационная съемка, гамма-съемка и, кроме того, минералогическая съемка с люминоскопом.



Фиг. 4. Профиль аэроионометрической съемки по простиранию рудного тела.

Результаты аэроионометрических измерений, полученные при прохождении по простиранию рудного тела, представлены на фиг. 4. Кривая хода ионизации воздуха в этом случае довольно показательна и отвечает на поставленный перед нами вопрос — проследить простирание рудного тела. Нетрудно видеть, что кривая на первых точках идет плавно вверх, затем на точках 3 и 4 остается без изменения, затем резко возрастает на точке 5 у шурфа, после чего плавно снижается и доходит почти до нормальных значений при измерениях на точках 9 и 10. Таким образом, судя по приведенной кривой ионизации воздуха, рудное поле охватывает сравнительно небольшую площадь; протяженность его составляет, по нашим данным, несколько сот метров. Один из профилей, заданный нами вкрест простирания рудного тела, дал аномалию, находящуюся вне зоны известных рудных объектов на осветленных породах. Максимальная ионизация воздуха в этом случае составляла 7 770 ионов в 1 $см^3$. В дальнейшем аномалия

была подтверждена данными гамма-съемки, причем активность по гамма-излучению была того же порядка, что и на отвалах, где встречались урановые минералы.

Для сравнения с приведенными выше результатами, полученными на различных урановых месторождениях, приводим данные аэроионометрической съемки на карнотитовом месторождении осадочного типа.

В отличие от кривых, приведенных выше, ионизация воздуха в пунктах измерения меняется скачкообразно, несмотря на то, что точки в большинстве случаев расположены друг от друга не дальше, чем на 100—150 *м*. Этот факт говорит о ином характере оруденения, чем на перечисленных выше месторождениях, и о сравнительно небольшом радиусе распространения ореолов рассеяния радиоактивных элементов в толще осадочных вмещающих пород, т. е. свидетельствует о большей локализации источника ионизации.

Повидимому, в этих случаях аэроионометрический метод можно использовать не только в поисковых, но и в разведочных целях. Необходимо указать, что максимальная концентрация легких ионов не выходила за пределы 7 000 ионов в 1 $см^3$, т. е. была ниже, чем на первых трех месторождениях.

В качестве сравнительных данных, характерных для «нормального поля», были произведены измерения ионизации воздуха вне рудной зоны. Число легких ионов на этой точке в среднем равно 3 500, тогда как на месторождении оно колеблется в пределах от 5 000 до 7 000 в 1 $см^3$, т. е. в $1\frac{1}{2}$ — 2 раза выше.

Интенсивность ионообразования

Как уже упоминалось выше, исследования интенсивности ионообразования были поставлены с целью выяснить, до известной степени, механизм ионизации воздуха в условиях радиоактивных месторождений.

Известно, что концентрация легких ионов зависит от двух причин: интенсивности ионообразования и интенсивности ионоуничтожающих факторов. Обычно изучение механизма ионизации производится в предположении стационарного состояния в воздухе, которое выражается, согласно уравнению Швейдлера, формулой

$$q = \beta n,$$

где β носит название константы исчезновения ионов. Ионообразование q слагается из излучения радиоактивных веществ и космического излучения.[1]

В табл. 3 представлены данные о числе пар ионов I, обращающихся под действием гамма-лучей радиоактивных элементов, находящихся в почве.

[1] Приведенные ниже данные заимствованы из статьи В. Гесса (V. Gess. Ergebnisse der kosmischen Physik, 11, 1933, ss. 96—152).

Таблица 3

Почвы	От ряда U	От ряда Th	От K	Сумма
Образованная из изверженных пород	1,5 I	1,5 I	0,5—2,09 I	3,5 I
Образованная из осадочных пород	0,9 I	0,9 I	0,1—0,5 I	2,0 I

Альфа- и бета-лучи добавляют к этой величине около 25%. Всего излучение почвы дает: q_1=2,5—4,5 I.

В воздухе, кроме того, находится эманация радия и тория и продукты их распада. Принимая содержание эманации радия в воздухе равным $1{,}3 \cdot 10^{-16}$ *кюри/см*$^{-3}$, находим, что ионообразование за счет альфа-излучения этих элементов равно: q = 0,0231, для бета- и гамма-излучения: =0,023 I, =0,5 I.

Ионообразующее действие радиоактивных продуктов ториевого ряда принимается равным 40% по отношению к продуктам ряда уран — радий. Для величины суммарного эффекта радиоактивных продуктов из атмосферы получим: q_2=4,5 I.

Космические лучи дают на земной поверхности в наших широтах q_1=1,9 I. Таким образом, суммарная величина ионообразования над сушей у земной поверхности выразится: над почвой из изверженных пород q=10,4 I; над почвой из осадочных пород q=8,7 I.

В зависимости от различных свойств почвы в точках наблюдения и различного содержания в почве и воздухе радиоактивных элементов возможны колебания интенсивности ионообразования. В. И. Баранов и М. Д. Кравченко получили среднее годовое значение интенсивности ионообразования, равное 10,6 I. Подобные же значения q были получены другими авторами. Так, Гесс нашел, что q=10,4 I. На контрольном пункте нами было обнаружено среднее значение интенсивности ионообразования, равное 15,5 I. Во время работ измерения интенсивности ионообразования были произведены на месторождениях № 1 и № 2. На площади месторождения № 1 среднее значение интенсивности ионообразования равнялось q=40 I.

Необходимо указать, что вблизи рудных отвалов наблюдались чрезвычайно высокие значения интенсивности ионообразования — до q=106,9 I. На месторождении № 2 q=32,7 I. Высокие значения интенсивности ионообразования на данном месторождении наблюдались в часы затишья, которые предшествовали смене направлений горно-долинных ветров. В эти часы интенсивность ионообразования равнялась q=89,0 I. Таким образом, величина интенсивности ионообразования в условиях урановых месторождений в среднем в 2—2½ раза выше, чем на контрольном пункте, и в 3—4 раза выше, чем в пунктах, совершенно удаленных от районов

урановых месторождений, что является достаточно показательным.

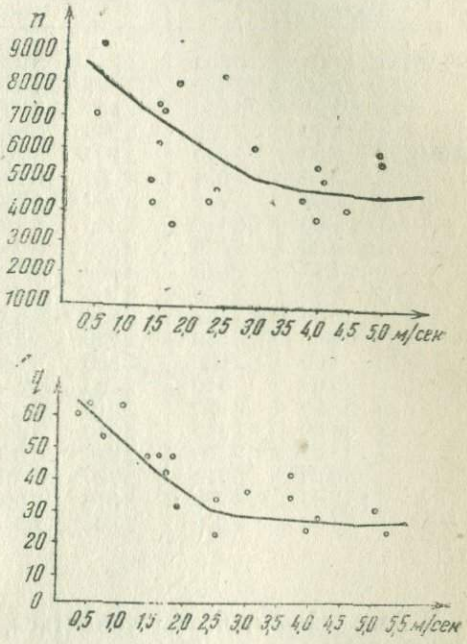
Одновременные измерения числа легких ионов и интенсивности ионообразования позволили нам вычислить по уравнению Швейдлера величину константы исчезновения ионов β.

Для месторождения № 1 она составляет $13{,}3 \cdot 10^{-3}$ сек. $^{-1}$.

В зависимости от наличия в воздухе ядер конденсации и медленных ионов, способствующих исчезновению легких ионов, величина константы исчезновения ионов β колеблется в пределах $16 \cdot 10^{-3}$ сек.$^{-1}$ — $100 \cdot 10^{-3}$ сек.$^{-1}$, что установлено работами различных авторов.

Следовательно, величина β на месторождении № 1 имеет меньшее значение, чем обычно наблюдается, что свидетельствует о большой чистоте горного воздуха. Это вполне согласуется с малой величиной поправки на медленные ионы.

Одновременные измерения числа легких ионов и интенсивности ионообразования при наблюдении суточного хода этих элементов показали почти полный параллелизм в ходе этих элементов; повышенным значениям интенсивности ионообразования в большинстве случаев соответствует высокая концентрация легких ионов и наоборот.



Фиг. 5. Зависимость числа легких ионов (n) и интенсивности ионообразования (q) от скорости ветра.

Главный максимум числа легких ионов приходится на время 7—9 часов утра и интенсивности ионообразования — 5 часов утра. Часы максимума числа легких ионов являются достаточно устойчивыми и выдерживаются при измерениях дневного хода.

Колебания в суточном ходе интенсивности ионообразования и числа легких ионов мы объясняем различными условиями перемешивания воздушных слоев, в связи с изменениями скорости ветра в течение суток, имеющей влияние на распределение названных выше элементов. Для подтверждения высказанного положения даем фиг. 5, где изображена зависимость величины интенсивности ионообразования и числа легких ионов от скорости ветра по данным суточного хода. На фигуре можно видеть, что с уве-

личивающейся скоростью ветра интенсивность ионообразования и число легких ионов в пункте наблюдения убывают. Ниже приводится таблица результатов наблюдений числа легких ионов и интенсивности ионообразования во время суточного хода 25—26/VII.

Таблица 4

Дата	Время (часы и минуты)	n_+	n_-	n	$\frac{n_+}{n_-}$	q	Скорость ветра в *м/сек*	Направление ветра
25/VII	21 00	3 500	1 820	5 320	1,92	33,2	2,3	СВ
	22 00	2 660	1 960	4 620	1,36	41,8	1,68	СВ
	23 00	3 220	2 030	5 250	1,59	47,5	1,43	В
	24 00	3 080	2 590	5 670	1,19	51,3	2,4	СВ
26/VII	2 00	5 040	3 220	8 260	1,57	47,5	1,6	В
	3 00	6 020	4 200	10 220	1,43	53,2	0,65	СВ
	4 00	4 760	3 290	8 050	1,45	63,2	0.47	С
	5 00	5 110	3 360	8 470	1,52	63,1	1,15	СВ
	6 00	3 640	2 310	5 950	1,58	47,5	1,43	Ю
	7 00	2 870	4 060	6 930	0,71	59,8	0,33	Ю
	8 00	4 340	6 930	11 270	0,63	31,3	1,9	ЮВЮ
	9 00	5 180	3 850	9 030	1,35	47,5	1,8	ЮЮВ
	10 00	6 580	2 730	9 310	2,41	21,8	2,5	ЮЗ
	11 00	2 030	2 800	4 830	0,73	47,5	3,9	ЮЗ
	12 00	3 150	2 665	5 815	1,18	23,7	5,2	ЮЗЗ
	13 00	3 920	2 310	6 230	1,70	41,3	5,2	ЮЗЗ
	14 00	3 150	2 310	5 460	1,36	34,2	3,8	СЗЗ
	15 00	3 150	2 940	6 090	1,07	27,5	4,1	СЗС
	16 00	3 780	2 730	6 510	1,38	23,7	4,0	СЗС
	17 00	3 990	3 010	7 000	1,33	30,8	4,95	ЗСЗ
	18 00	4 270	2 800	7 070	1,53	35,6	3,0	ЗСЗ

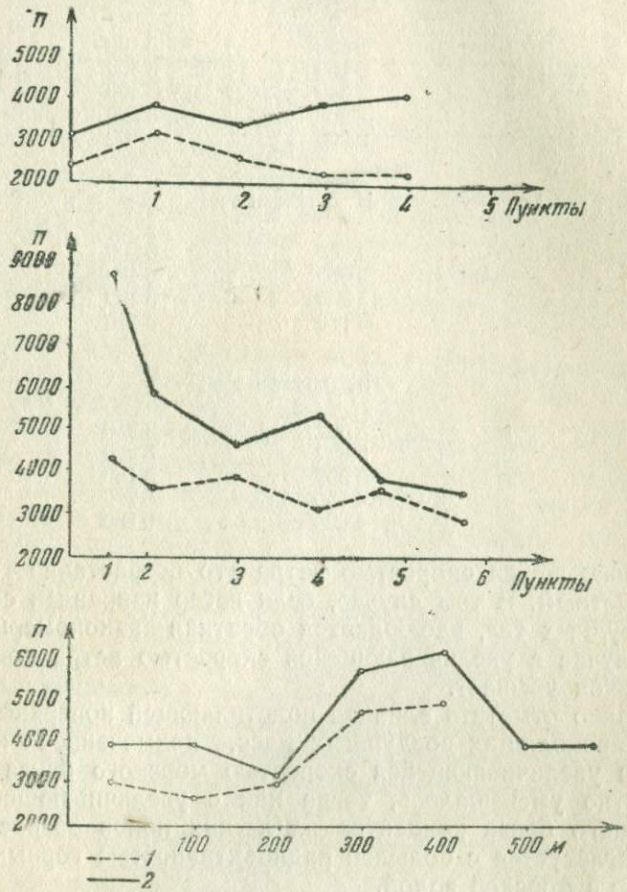
В дальнейшем, чтобы убедиться, что распределение ионов над месторождением в ветренные дни имеет совершенно иной характер, чем в тихие дни, был пройден ряд маршрутов при различной скорости ветра по одним и тем же пунктам наблюдения, причем измерялось число легких ионов только положительного знака. Полученные результаты представлены в табл. 5 и на фиг. 6.

Из приведенной таблицы можно видеть, что в ветренные дни в пунктах наблюдения концентрация легких ионов ниже, чем в тихие дни. Числа легких ионов в различных пунктах профиля в ветренные дни отличаются значительно меньше, чем в тихие. Следовательно, локализация аномалии будет во втором случае значительно резче, чем в первом.

Таким образом, при решении вопроса о контурах месторождения наиболее благоприятными для измерения ионизации воздуха нужно считать часы затишья или с небольшой скоростью ветра (1—2 *м/сек*).

Зависимость ионизации воздуха от направления ветра

Для выяснения зависимости числа легких ионов от направления ветра были использованы полустационарные наблюдения в районе месторождения № 1 в пункте, относительно не нарушен-



Фиг. 6. Распределение ионов над месторождением.

1—число легких ионов при сильном ветре; *2*—число лег их ионов при штиле.

ном присутствием рудных тел. Действительно, среднее значение легких ионов равняется 4 550, тогда как среднее число легких ионов над месторождением равняется 6 550 ионов в 1 $см^3$. При исследовании указанной выше зависимости удалось обнаружить, что если ветер дует со стороны, где расположены рудные тела, то наблюдается возрастание концентрации легких ионов, причем

Таблица

№ пункта	$n+$ в ветренные дни	$n+$ в тихие дни
	I профиль	
1	2 380	3 100
2	3 150	3 800
3	2 540	3 400
4	2 200	3 900
5	2 200	4 100
	II профиль	
1	4 300	8 900
2	3 650	6 400
3	3 900	5 200
4	3 150	5 400
	III профиль	
1	3 002	3 950
2	2 622	3 950
3	3 002	3 150
4	4 750	5 700
5	4 900	6 300

с увеличивающейся скоростью ветра это возрастание становится более заметным. В том случае, если ветер направлен со стороны, где нет рудных тел, наблюдается обратная закономерность, т. е. в этом случае с увеличивающейся скоростью ветра концентрация легких ионов убывает.

Интересно отметить влияние подстилающей поверхности на ионизацию проходящих воздушных масс, подмеченное автором в 1937 г., с увеличивающейся скоростью морского бриза число ионов заметно уменьшалось, тогда как с увеличивающейся скоростью горного бриза концентрация легких ионов возрастала, что вполне согласуется с большей радиоактивностью горных пород по сравнению с морской водой.

Суточный и дневной ход ионизации воздуха как поисковый критерий

До сих пор изучение суточного хода ионизации воздуха являлось задачей работ обсерваторского типа и в отдельных случаях вошло в программу курортных исследований. В последних ионизация воздуха рассматривается как один из биоклиматических факторов. Многие авторы находят двойной суточный период числа легких ионов, причем максимум падает на первые утренние или послеполуденные часы, минимум приходится на предобеден-

ные и вечерние часы. Более изученным как в СССР, так и за границей, является суточный ход электропроводимости, по которому можно судить о суточном ходе числа легких ионов, так как известно, что электропроводимость воздуха с числом легких ионов связана уравнением:

$$\lambda \equiv npuE,$$

где n — число легких ионов;
u — подвижность легких ионов;
E — элементарный электрический заряд, равный $4{,}77 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц.

Суточный ход электропроводимости, как установлено многими авторами, имеет следующий вид: главный максимум наблюдается в 3—4 часа утра, после восхода солнца электропроводимость сильно падает, в послеполуденные часы наблюдается вновь повышение электропроводимости, и второй минимум приходится на вечерние часы.

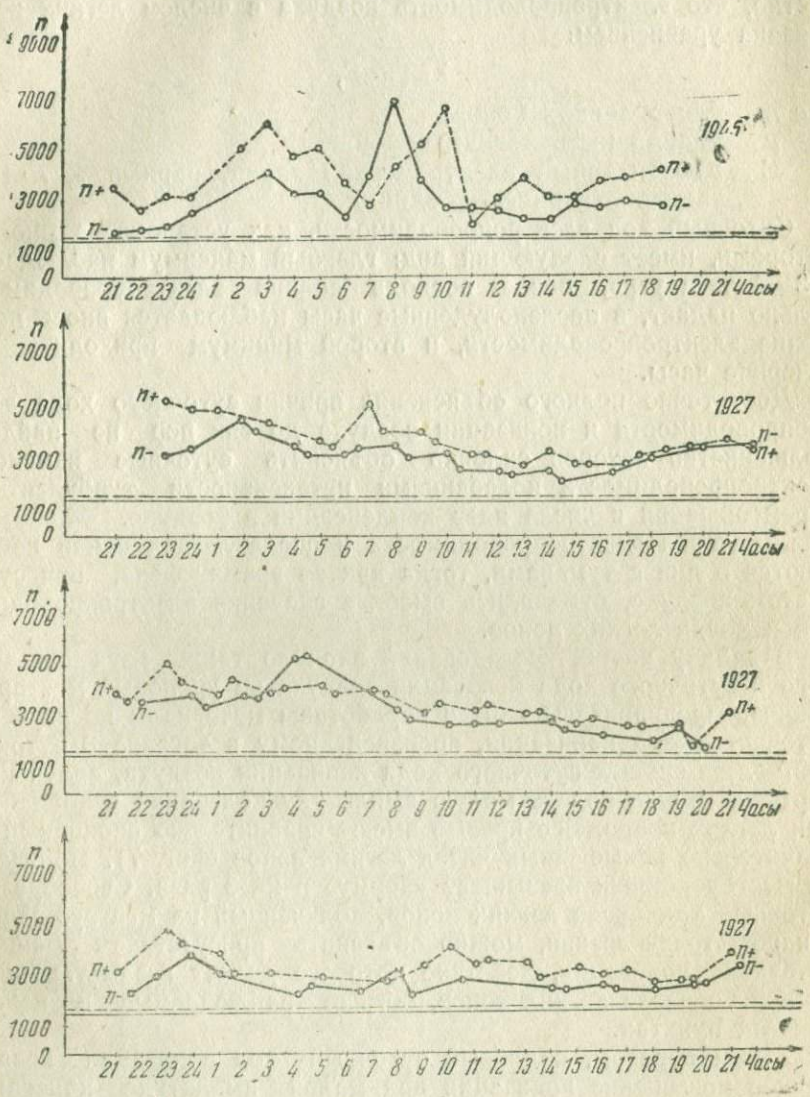
Достаточно полного объяснения причин суточного хода электропроводимости и ионизации воздуха до сих пор не найдено. Большинство авторов склонно объяснить суточные изменения электропроводимости колебаниями интенсивности турбулентного перемешивания и числа ядер конденсации в воздухе. Минимальные значения электропроводимости и числа легких ионов наблюдаются в дни с туманами, тогда как во время фёна, при сухом чистом воздухе, отмечались высокие значения электропроводимости и числа легких ионов.

В задачу наших исследований входило также изучение дневного и суточного хода ионизации воздуха на урановых месторождениях. Предварительно были обработаны материалы по изучению суточного хода ионизации, произведенному в течение 3 суток в 1927 г. Из кривых суточного хода ионизации воздуха, полученных партией, можно видеть малую амплитуду колебаний в концентрации легких ионов. Все кривые имеют сравнительно спокойный ход значительно повышенных чисел легких ионов (фиг. 7). Ионизация на месторождении превышает «норму» в 2—3 раза. Своеобразный суточный ход числа легких ионов, полученный на месторождении, с нашей точки зрения, можно объяснить присутствием мощного источника ионизации, действие которого делает незаметными колебания в числе легких ионов, обычно наблюдаемые в ненарушенных пунктах.

Таким образом, подобный суточный ход ионизации воздуха (общее повышение ионизации при малой амплитуде колебаний) может служить поисковым критерием урановых месторождений (см. фиг. 7).

Из работ, которые были поставлены для изучения суточного хода ионизации воздуха на радиоактивных месторождениях, следует указать на исследования В. И. Баранова в 1924 г. Последним был получен сравнительно простой ход числа легких ионов с

максимумом в ранние утренние часы (4—5 часов) и минимумом в 15—16 часов. Из приведенной ниже табл. 6, кроме того, можно видеть, что полученные значения числа легких ионов сравнительно



Фиг. 7. Кривые суточного хода ионизации воздуха.

мало отличаются от значений, обычно наблюдаемых при отсутствии рудных тел, выходящих на поверхность.

Отсутствие сильно повышенной ионизации на карнотитовом

месторождении, несомненно, связано с характером оруденения, главным образом с глубиной залегания рудного тела и слабым выходом почвенного воздуха из плотной известковой толщи вмещающих пород.

Как уже упоминалось выше, суточный ход на месторождении № 1 наблюдался нами на небольшом плато в безрудной части жилы. Как видно на фиг. 7, суточный ход числа легких ионов имеет два максимума.

Первый максимум, обычный для всех пунктов, приходится на 3 часа утра, второй — главный максимум наблюдается в 7—9 часов утра, т. е. в часы, когда в большинстве обсерваторий наблюдается обычно минимум электропроводимости и в большинстве случаев минимум числа легких ионов.

После 9—10 часов утра кривая суточного хода идет вниз, и приблизительно с 11 до 18 часов наблюдается сравнительно ровный ход пониженных значений числа легких ионов, после чего в ночные часы концентрация легких ионов опять повышается. При неоднократном проведении наблюдений дневного хода числа легких ионов на этом месторождении мы убедились, что второй—главный максимум числа легких ионов (7—9 часов утра), наблюдаемый в суточном ходе, сохраняется и при дневном ходе.

В дальнейшем при наших исследованиях и по материалам 1927 г. выяснилось, что подобный дневной ход числа легких ионов наблюдается на целом ряде других месторождений. На всех этих месторождениях выдерживается утренний максимум в 7—9 часов утра и ровный пониженный ход числа легких ионов с 11 до 18 часов. Таким образом, напрашивается вывод, что описанный выше дневной ход является характерным для изучавшегося нами региона.

Причиной описанного суточного, а также дневного хода числа легких ионов являются чисто местные условия, а именно

Таблица 6

Часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	Максимум	Минимум	Среднее
n_+	1300	1600	2400	2500	2000	1600	1350	1200	1500	1700	1400	2500	2500	1200	1650
n_-	600	900	1300	1500	1300	1100	975	800	800	1750	1250	650	1500	600	900
n_+	2,19	1,78	1,84	1,66	1,54	1,46	1,54	1,50	1,50	1,43	1,36	2,15	2,16	1,36	1,66
n_-															

наличие горно-долинных ветров, которые на обследуемых месторождениях меняют свое направление с правильной периодичностью. В утренние часы (обычно 7 — 8 часов), которые предшествуют смене направлений ветров, наблюдается наибольшее количество штилей. Безветренное состояние способствует резкому возрастанию ионообразующей деятельности, что в свою очередь вызывает возрастание концентрации легких ионов. В результате появляется главный максимум в суточном и дневном ходе числа легких ионов, наблюдаемый в 7 — 9 часов. Этот максимум по своей величине на различных месторождениях может быть различен, что будет зависеть в основном от интенсивности ионообразования, характерной для того или иного типа оруденения.

Чрезвычайно благоприятным моментом в условиях обследуемых нами месторождений является сравнительно спокойный ход числа легких ионов от 10 до 18 часов, который говорит о сравнительно устойчивом распределении легких ионов, существующем при слабых долинных ветрах южных румбов. Эти часы наиболее благоприятны для проведения маршрутов аэроионометрической съемки, так как на фоне сравнительно спокойного хода числа легких ионов, обусловленного режимом ветров, встреченные аномалии должны выявляться достаточно ясно. Из сказанного следует, насколько важно и необходимо наблюдение суточного и дневного хода ионизации воздуха для получения сравнимых результатов в поисковых целях.

Характеристика ветра в нижних слоях атмосферы на изучавшемся регионе

Из всего комплекса метеорологических элементов наибольшее влияние на ионизацию воздуха оказывает ветер, его направление и скорость движения. Поэтому мы поставили своей задачей исследовать, каким закономерностям подчиняется режим ветра в условиях обследуемых нами месторождений. В основу наших исследований были взяты материалы метеорологических наблюдений, собранные в 1927 г. за 4 месяца. Метеорологические наблюдения были организованы на небольшом открытом плато. Измерения производились через каждые два часа, начиная с 6 часов и до 20 — 22 часов. В отдельных случаях производились круглосуточные наблюдения также через каждые два часа. Обработанные и сведенные в таблицы и графики данные показали сравнительно регулярную смену ветров в период с 6 до 22 часов, а именно: в дневные часы наблюдаются ветры южных румбов, тогда как в вечерние и ночные часы, как правило, дуют ветры северных румбов. В 6 — 8 часов в большинстве случаев наблюдается штиль, после чего ветер переходит на южные румбы, а в 16 часов меняет направление с южных румбов на северные.

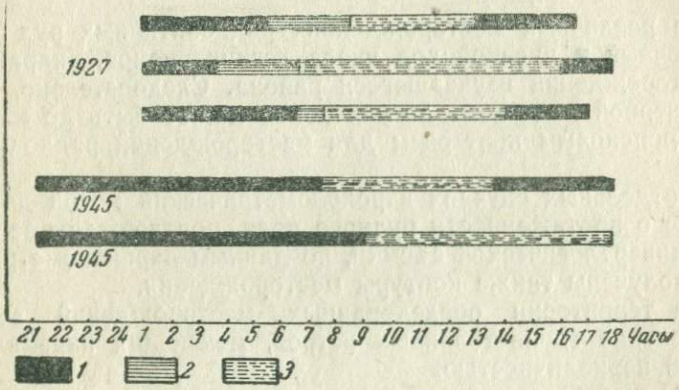
Для подтверждения изложенного приводим таблицу, где пред-

ставлена в процентах повторяемость ветров с 6 до 22 часов (табл. 7).

Таблица 7

Часы	6	8	10	12	14	16	18	20	22
С	15,0	14,0	14,0	12,6	25,7	44,3	55,0	48,5	42,4
С	19,0	13,0	6,0	3,4	7,4	8,6	7,5	9,0	13,6
В	10,5	11,5	3,5	0,0	15,0	0,0	3,0	3,0	1,5
Ю	0,0	8,0	15,1	14 0	4,0	3,0	3,0	3,0	0,0
ЮЗ	0,0	9,0	31,4	40,0	29.8	10 0	10,5	3,0	0,0
СЗ	0,0	3,1	3,5	4,6	15,0	23,0	12,0	6,0	1,5
З	0 0	1,0	17,4	19,5	15,0	7,1	6,0	3,0	0,0
Штиль	55,5	40,0	9,1	5,7	3,1	4,0	3,0	24,2	41,0

Данные о повторяемости ветра, полученные нами на месторождении № 7, подтвердили данные 1927 г. с той только разницей, что по нашим данным смена направлений ветров с южных румбов на северные наступает несколько раньше (в 14 — 15 часов). Точно так же на всех других обследуемых нами месторож-



Фиг. 8. Суточный ход направления ветра.

1—ветры северных румбов; *2*—штиль; *3*—ветры южных румбов.

дениях в дневные часы, как правило, наблюдались ветры южных румбов, тогда как в вечерние и ночные часы преобладающими являются ветры северных румбов. Наиболее наглядное представление о режиме ветров дают результаты круглосуточных измерений, представленные на фиг. 8, из которых можно видеть, что в течение дня преобладают, как уже упоминалось выше, ветры южных румбов продолжительностью от 6 до 9 часов (чаще с 8 до 14 часов дня), в остальные часы суток наблюдаются ветры север-

ных румбов. Регулярная смена направлений ветров дает нам право отнести их к горно-долинным ветрам.

Несомненно, в ряде отдельных случаев этот правильный режим ветров может быть нарушен, что чаще всего связано со сменой воздушных масс (с прохождением фронта).

Полученные закономерности в режиме ветров на изученных месторождениях говорят об определенной устойчивости погодных условий. Последнее обстоятельство является положительным моментом при постановке поисковых работ методом аэроионометрической съемки, так как на фоне устойчивых погодных условий имеющиеся аномалии несравненно легче обнаружить, чем в условиях «пестрой» погоды.

Выводы

1. Установлено, что концентрация легких ионов на вскрытых месторождениях радиоактивных руд достигает высоких значений — от 6 000 до 15 000 ионов в 1 *см*^{3}. Полученные средние значения ионизации на различных месторождениях в 2 — 3 раза превышают средние значения на контрольном пункте.

2. Значения интенсивности ионообразования на месторождениях в 2 — 2½ раза выше значений, полученных на контрольном пункте.

3. На различных месторождениях радиоактивных руд обнаружен суточный и дневной ход числа легких ионов, характерный для месторождений изучавшегося района. Следовательно, суточный и дневной ход числа легких ионов может быть до известной степени поисковым критерием для месторождений радиоактивных руд.

4. В отдельных случаях аэроионометрический метод дал представление о протяженности рудного поля, подтвержденное результатами минералогической съемки, по данным аэроионометрической съемки получены также контуры месторождения.

5. На территории обследованных месторождений выявлено существование горно-долинных ветров, меняющих направление с известной периодичностью.

6. При выборе сетки для аэроионометрической съемки необходимо учитывать размеры и характер объекта. Рекомендуется, однако, брать сетку со стороной, не превышающей 200 *м*.

7. Аэроионометрический метод, сущность которого заключается в исследовании ионизации воздуха с учетом погодных условий по отдельным маршрутам и точкам, является достаточно надежным методом поисков месторождений радиоактивных руд в условиях изучавшегося нами района.

8. Необходимо в дальнейшем совершенствовать и развивать аэроионометрический метод путем постановки дальнейших методических работ, с учетом практических результатов, в различных пунктах Советского Союза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В. И. ЖРФХО 57, 1925.
2. Баранов В. И. Измерение радиоактивности и ионизации воздуха на Тюя-Муюне в августе 1924 г. Известия Российской Академии наук, 1925.
3. Баранов В. И. Об измерении концентрации легкоподвижных ионов в воздухе. Труды по ионофикации, т. I. 1934.
4. Баранов В. И. Труды Гос. Центр. ин-та курортологии, том IV.
5. Баранов В. И. и Грачева Е. Г. Горизонтальное распределение радиоэлементов в атмосфере. Труды Радиевого ин-та, 1935.
6. Баранов В. И. и Кравченко М. Д. Журнал геофизики, т. IV, вып. 3, 1934.
7. Баранов В. И. и Кравченко М. Д. Журнал геофизики, т. V, вып. 4, 1935.
8. Гесс В. Ионизация атмосферы и ее причины. Госиздат, 1930.
9. Кравченко М .Д. Журнал геофизики, т. IV, вып. 3, 1934.
10. Кравченко М. Д. О колебаниях ионизации воздуха по наблюдениям в Ялте. Труды ГИФФ, 1938.
11. Наследов Б. Н., Баранов В. И. и Соколов П. Т. Опыт методики и разведки месторождений радиоактивных руд в Карамазарском районе Узбекистана. Труды ВГРО НКТП СССР, выпуск 248, 1933.
12. Снесарев А. Н. Труды по изучению радия и радиоактивных руд. Академия наук, 1926.
13. Шипчинский А. В. Основы метеорологии и климатологии. Сельхозгиз, 1933.
14. Nolan T. T., Boulan R. K., de Sachy Proc. Roy. Irish. Acad., A. 37, 1, 1926.

Е. А. Салье

К ВОПРОСУ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ И ОПРОБОВАНИЯ КАРНОТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Введение

В настоящей статье дается краткое описание некоторых геологических условий залегания карнотитовых руд, классификация различных типов оруденения и характеристика морфологии рудных тел. Описываются разработанные в процессе полевых работ методы поисков, разведки и опробования. В заключение произведена попытка обобщения методик, примененных к месторождениям, несколько отличающимся от рассмотренных по геологическим условиям и генезису. Считаем необходимым отметить, что в настоящее время мы не можем предложить окончательно установленных методов поисков, разведок и опробования, так как весь этот комплекс вопросов находится в стадии разработки.

Углубленное изучение описываемых карнотитовых месторождений начато сравнительно недавно. Работами ряда исследователей открыто несколько новых пунктов рудопроявления и проведено изучение ранее известных месторождений карнотитовых руд, различных по своему генезису и, как следствие этого, неравнозначных по своей промышленной ценности.

В первом приближении все известные в этом районе месторождения карнотита и тюямунита могут быть классифицированы следующим образом.

I. *Сингенетические месторождения.* Характерными признаками их являются:

1) нахождение первичных минералов, образовавшихся одновременно с отложением рудоносного пласта;

2) строгая приуроченность оруденения к определенному стратиграфическому горизонту;

3) увеличение интенсивности карнотитового оруденения и изменение типов руд с глубиной.

Месторождения карнотита в палеогеновых известняках являются характерным примером такого типа месторождений.

II. *Эпигенетические месторождения.* Характерными признаками их являются:

1) присутствие оруденения только в поверхностной зоне и полное исчезновение на глубине 2—3, реже 5—6 *м*;

2) приуроченность оруденения к различным стратиграфическим горизонтам и различным литологическим типам пород в одном и том же районе;

3) пленочный тип руд, которым представлено оруденение.

Генезис основных карнотитовых месторождений, связанных с песчаниками, в настоящее время ещё не достаточно выяснен. Для них устанавливается строгая приуроченность оруденения к определенному стратиграфическому горизонту, иногда некоторое увеличение интенсивности оруденения и изменение типов карнотитовых руд с глубиной, но первичные минералы типа смолок или черней пока не обнаружены.

ОПИСАНИЕ ИЗУЧЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В орографическом отношении изученная территория является возвышенностью, сложенной верхнетретичными и четвертичными отложениями.

Возвышенность тянется в северо-восточном направлении и представляет собой антиклинальную структуру длиной несколько десятков километров и шириной до 10 *км*.

Антиклиналь сильно размыта по своду, благодаря чему слагающие ее породы вскрыты на 1600—1700 *м* по мощности. Складка пересечена сетью сухих оврагов, в большинстве случаев меридионального направления. Долины обычно закрыты современными наносами. В восточной части антиклинали овраги имеют долинообразные формы, в западной части они узкие, сильно извилистые и довольно глубокие.

Толща кайнозойских отложений района подразделена на четыре свиты.

Нижние две свиты сложены более или менее крепкими породами (плотные песчаники и глины); будучи развиты в сводовой части антиклинали, они наклонены более круто, чем вышележащие свиты; в рельефе они нередко фиксируются повышением. Породы верхних двух свит, выходящие на крыльях антиклинали, залегают более полого и отличаются мягкостью и рыхлостью, вследствие чего участки, сложенные этими осадками, занимают в рельефе несколько пониженное место, за исключением верхней части покровной свиты, образующей повсюду значительно приподнятый над окружающей местностью уступообразный склон.

В строении антиклинали принимают участие только неогеновые породы. Мезозойские отложения развиты северо-восточнее, где они слагают сводовую часть другой антиклинали, а также запад-

нее. Представлены они главным образом яркокрасными и красными глинами и песчаниками с подчиненными прослоями мелкогалечных конгломератов. Возраст их определяется верхнемеловым (сенонским) .

Палеогеновые образования подробно изучены по реке, прорезающей соседнюю антиклиналь в меридиональном направлении. Здесь они представлены довольно полно и являются хорошо охарактеризованными фаунистически, что дает возможность подразделить их на ряд горизонтов.

Неогеновые отложения изученной антиклинали на основании литологического состава пород и некоторых структурных и текстурных их особенностей подразделены на четыре свиты (снизу вверх): 1) тонкослоистая свита, 2) толстослоистая свита, 3) переходная свита, 4) покровная свита.

Породы тонкослоистой свиты, слагающей ядро антиклинали, представлены главным образом красно-бурыми, бурыми, плотными, слоистыми, нередко загипсованными глинами с прослоями серых, среднезернистых, реже разнозернистых и грубозернистых известковистых песчаников. Глины пересечены в разных направлениях прожилками кристаллического гипса.

Глины подразделяются на два типа: 1) красно-бурые, плотные, слабослоистые, без органических остатков и 2) ярких цветов, пластичные, мергелистые, содержащие в небольшом количестве песчанистые частицы, с микро- и макрофауной. Благодаря чередованию тонких пластов красно-бурых глин с пропластками светлых песчаников в обнажениях, где выходят породы описываемой свиты, отчетливо наблюдается очень тонкая слоистость.

Песчаники свиты также разделяются на два типа: 1) мелкозернистые, хорошо отсортированные ,с плотным известково-глинистым цементом; 2) грубозернистые, слабо сцементированные, с плохо отсортированной галькой.

Отдельные пласты в тонкослоистой свите плохо выдерживаются по простиранию, выклиниваются и дают серию фациальных переходов.

В описываемом районе в тонкослоистой свите оруденение не встречено. Западнее, на северном склоне другой антиклинали оно обнаружено в средней части свиты, будучи здесь приурочено к пласту медистых песчаников. Мощность свиты колеблется от 200 до 430 *м*.

Выше залегает толстослоистая свита, представленная глинами бурыми, темнобурыми, розовато-красными, часто мергелистыми, иногда загипсованными и песчаниками тонко- и разнозернистыми, полимиктовыми, реже пудинговыми, а также гравелитами желтоватого, розоватого и зеленоватого цвета. Некоторые слои песчаников изобилуют растительными остатками (стволы, ветки). В глинах содержится фауна пресноводных гастропод, пелеципод, обуглившиеся растительные остатки и плоды *Chara*.

Чередование пород различного состава происходит значитель-

но более мощными слоями, чем в нижележащей толще, что и определило название этой свиты. Мощность отдельных слоев колеблется в пределах 2—4 *м*, в редких случаях доходит до 10—12 *м*.

За верхнюю границу толстослоистой свиты принимается пласт песчаника . зеленовато-серого цвета, полимиктового, разнозернистого с известковистым цементом, с включением гравия и гальки палеозойских пород. К нему приурочены основные рудные скопления, встречающиеся также и в некоторых других слоях этой свиты. Подобные песчаники получили у нас название «рудоносных».

Общая ее мощность колеблется в пределах от 270 до 400 *м*.

Вышележащая переходная свита представлена преимущественно светлосерыми, бурыми, зеленоватыми и голубоватыми глинами с подчиненными песчаниками. Глины часто песчанистые, неплотные, отчетливо очень тонко полосчатые. Песчаники свиты могут быть разделены на два типа: 1) розовые песчаники, неравномернозернистые, слабо сцементированные, с участками мелкообломочного конгломерата (галька представлена палеозойскими породами); 2) серые песчаники, тонкозернистые, с хорошей сортировкой зерен и большим количеством пылеватых частиц и листочков темной слюды.

Переходная свита содержит несколько горизонтов песчаников типа «рудоносных», которые, однако, не являются выдержанными. Это серые, зеленовато-серые, полимиктовые песчаники, с известковистым цементом, разнозернистые, косослоистые.

Мощность свиты колеблется в пределах 200—400 *м*.

Выше залегает толща пород мощностью 500—700 *м*, называемая покровной свитой. Сложена она главным образом светлобурыми, желтоватыми, плотными, однородными песчано-глинистыми породами, весьма напоминающими современные лёссовидные суглинки; нередко наблюдаются включения кремнистой окатанной гальки. Песчаники занимают положение, подчиненное в нижней и средней частях свиты и преобладающее в верхней. Песчаники бурые, косослоистые, грубозернистые, со сравнительно слабым цементом. Вверх они постепенно переходят в мелкогалечные конгломераты.

Верхняя часть свиты сложена преимущественно грубообломочным материалом, сцементированным песчано-глинистым и известковым цементом. Вследствие этого по периферии антиклинали отложения этой части разреза образуют уступы, возвышающиеся на 200—300 *м* над уровнем сильно денудированных песчано-глинистых образований переходной свиты.

В покровной свите также встречено несколько пластов песчаников типа рудоносных. По своему литологическому составу они аналогичны рудоносным песчаникам толстослоистой свиты и отличаются повышенной радиоактивностью.

Выше покровной свиты залегают четвертичные конгломераты и галечники.

Антиклиналь является асимметричной. Юго-восточное ее крыло

в присводовой части наклонено под углом 25—30°, к югу падения постепенно выполаживаются, так что в районе развития покровной свиты пласты падают под углом 6—7°, а далее на юго-восток лежат почти горизонтально. Северо-западное крыло наклонено под углом 60—65° и резко выполаживается по мере удаления от свода складки на север.

Периклинальные части структуры, за исключением наружного уступа, так же как и центральная часть, сильно денудированы, благодаря чему ясно фиксируется пологое (9—10°) погружение пластов.

Антиклиналь расположена вблизи от палеозойского массива и отделяется от него продольной долиной шириной 8—10 *км*, заполненной осадками подгорного шлейфа. Ось структуры имеет северо-восточное простирание; в средней части антиклинали происходит слабое отгибание оси к югу, но далее она опять принимает свое прежнее простирание. Наблюдаются многочисленные сбросовые дислокации, характеризующиеся незначительными амплитудами, быстро затухающие по простиранию.

Наличие пресноводной фауны, характер слоистости пород тонко- и толстослоистой свит и ряд других данных свидетельствуют о том, что формирование свиты происходило в озерном пресноводном бассейне. Видимо, это было большое мелководное озеро, опреснявшееся многочисленными речками, приносившими большое количество мелкообломочного материала. Наблюдаемые в песчаниках толстослоистой свиты (рудоносный горизонт) линзы, сложенные грубозернистым материалом и мелкой галькой, могут быть объяснены действием более бурных потоков, переносивших материал далеко в глубь бассейна. Такое же объяснение может быть дано присутствию в этих песчаниках растительных остатков.

Примерно такая же обстановка существовала в эпоху отложения переходной свиты, с той разницей, что меньшую роль играли потоки, впадавшие в озеро с палеозойской суши (преобладание глин над песчаниками).

При отложении покровной свиты вначале существовали условия, аналогичные физико-географическим условиям в эпоху отложения переходной свиты. Затем, повидимому, усилились поднятия, произошло частичное, а позднее и полное осушение озера, так что формирование осадков верхней части покровной свиты протекало уже в континентальной (безводной) обстановке.

Значительные падения пород покровной свиты свидетельствуют о наличии орогенической фазы, проявившейся в четвертичное время; эта фаза и явилась главной в формировании основных тектонических форм описываемого района.

Процессы складкообразования имели место и в позднейшее время, на что указывает понижение русла реки и дислоцированность лёссовидных суглинков, являющихся заведомо позднейшими четвертичными образованиями.

В пределах антиклинали оруденение встречается в различных

свитах и приурочено к различным литологическим типам пород. Основные рудные скопления содержатся в пласте рудоносных песчаников, залегающих вверху толстослоистой свиты.

Мощность этого пласта колеблется от 5 до 11 *м*. Песчаник зеленовато-серый, полимиктовый, разнозернистый, косослоистый. Встречаются прослойки и линзы конгломерата с мелкой галькой палеозойских пород. Цемент песчаников известковистый. Наблюдаются тонкие прослои мелкозернистого плотного песчаника также с известковистым цементом, дающие при выветривании выступы, карнизы. Характерным являются включения серых и красных глин, имеющие округлую и веретенообразную форму, изредка образующие пропластки в 5—10 *см* мощности.

В рудоносных песчаниках часто встречаются растительные остатки, представленные крупными ветвями, реже стволами деревьев. Песчаники местами лимонитизированы. Лимонитизация происходит от окисления пирита и частично других железосодержащих минералов. Наиболее интенсивно лимонитизированы растительные остатки. Характер распределения рудных минералов и морфология рудных тел в рудоносных песчаниках зависят от многих причин. Основными факторами являются крупность зерен песчаника, характер косой слоистости, трещиноватость, включение растительных остатков и включение окатышей и пропластков глинистых пород. В зависимости от этого формы рудных выделений можно разделить на следующие группы.

1. Рудные линзы, подчиненные линии контакта среднезернистых и тонкозернистых песчаников. Эти линзы имеют форму, вытянутую параллельно линии контакта, с значительным превышением длины линзы по отношению к ее мощности. Размеры линз достигают 15—20 *м* по простиранию и 0,3 —0,8 *м* по мощности.

2. Группа рудных тел, форма которых обусловливается косой слоистостью в песчанике. В зависимости от направления косой слоистости изменяется форма линз. При пологой косой слоистости линзы вытянуты параллельно слоистости со значительным превышением длины линз над их мощностью. При корытообразной слоистости рудные линзы незначительны по длине, сильно изменчивы по мощности и быстро выклиниваются.

3. Рудные тела, выделение которых связано с растительными остатками. В обогащенных участках растительные остатки являются коллекторами рудных минералов, которые пропитывают всю древесину и образуют вокруг этих растительных остатков рудные тела округлой или линзовидной формы, максимально до 0,5 *м* в длину.

4. Группа рудных концентраций, связанных с трещиноватостью. Наличие трещин в песчаниках способствовало прониканию в них растворов и отложению тончайших рудных корочек по стенкам трещин.

Распределение рудных линз в пределах пласта песчаников мало изучено. Однако и при современном вскрытии месторождений

горными работами можно судить, что распределение рудных линз является неравномерным.

Наряду с пустыми участками рудного пласта, где нет никаких рудных проявлений, некоторые участки значительно обогащены рудными линзами. Линзы встречаются по всей мощности пласта, в некоторых случаях они приурочены к его висячему боку, в других — располагаются в центральной части и, наконец, обнаруживаются и в лежачем боку.

По текстуре оруденение также различно. Можно установить следующую классификацию типов руд: 1) полосчатые, 2) вкрапленные, 3) пятнистые, 4) пленочные.

1. Полосчатые руды в огромном большинстве случаев залегают в нижних горизонтах пласта, видимо мало затронутых процессами выщелачивания.

В этих рудах карнотит располагается хорошо видимыми тонкими полосками, отделенными друг от друга полосками, состоящими из зерен кварца и полевого шпата. Руда приобретает резко выраженную полосчатую текстуру. Линзы, содержащие такие руды, обладают значительно большей выдержанностью по простиранию.

2. Вкрапленные руды, располагающиеся ближе к дневной поверхности, представляют неправильные вкрапления отдельных зернышек карнотита в песчанике. В пределах рудных линз эти рудные вкрапления пронизывают всю массу песчаника и видны в любом изломе. При изучении взаимоотношений карнотита с другими составными частями рудного песчаника выясняется явное замещение карбонатного цемента карнотитом. В отдельных шлифах видно, что выделение карнотита строго приурочено к карбонатным участкам.

На месторождении можно наблюдать, что ясно выраженные полосчатые руды по мере приближения к поверхности «размазываются» и, постепенно теряя свой характер, переходят во вкрапленные, пропитывающие руды. Можно предполагать, что этот тип руд образуется при воздействии вод, циркулирующих в пределах рудного пласта.

3. Пятнистые, наиболее богатые руды образуются обычно около растительных остатков, причем карнотит полностью пропитывает всю древесину, давая наиболее высокие концентрации и некоторый ореол в песчанике вокруг этих остатков, с уменьшением концентрации рудного минерала от центра к периферии.

Размеры оруденелых пятен весьма различны. В некоторых случаях это небольшие сучки деревьев диаметром 1 — 2 *см*, замещенные карнотитом с рудным ореолом в 5 — 6 *см*. В других случаях наблюдаются короткие стволы деревьев диаметром 20 — 25 *см* с ореолом в 30 — 40 *см*. Распределение их в рудоносном песчанике крайне неравномерное. Оруденелые древесные остатки обычно яркожелтого цвета, бледнеющего в ореоле, хрупкие и легко разрушающиеся. В поверхностных зонах происходит замет-

ная лимонитизация этих пятен и создается впечатление, что карнотит постепенно замещается лимонитом. Ориентировка сучьев и остатков деревьев не следует элементам залегания пласта.

4. Пленочные руды образуются по стенкам трещин и дают на них тончайшие пленки и корочки карнотита, без проникания последнего во вмещающие породы.

Первые три типа руд иногда дают промышленно интерсные концентрации, пленочные же руды не образуют таких концентраций несмотря на их яркость и эффективность. Рассматриваемое месторождение характеризуется определенной вертикальной зональностью. На поверхности наблюдается зона частичного или полного выщелачивания. Оруденение обычно представлено пленочными рудами, значительно реже — пятнистыми. Ниже, с глубины 0,5 — 1 *м*, намечается зона вкрапленных и пятнистых руд. Пленочные руды имеют здесь подчиненное значение. Эта зона постепенно переходит в зону полосчатых руд, и на глубине 10—12 *м* обычно встречаются только полосчатые и пятнистые руды.

МЕТОДИКА ПОИСКОВЫХ РАБОТ И ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ

Выработанная методика поисковых работ в кайнозойских отложениях, в частности в изучаемой антиклинали предусматривает нижеуказанную последовательность операций.

А. Литолого-стратиграфическое изучение района поисков, расчленение всей толщи осадков на ряд свит и выделение перспективных свит и горизонтов

Расчленение толщи на отдельные свиты проводится при помощи составления литолого-стратиграфических разрезов в изучаемом районе. Работа должна сочетать фациально-литологическое изучение толщи с чисто поисковой деятельностью, осуществляемой путем осмотра обнажений, проходки мелких горных выработок и широкого применения радиометрии.

При выделении перспективных свит и горизонтов следует руководствоваться *литологическими признаками*, характером окраски свит, условиями залегания и гидрогеологическим режимом. Специальных задач по картированию района в масштабах поисков возлагать на поисковые партии не следует, так как, если учитывать специфику поисковых работ, картирование будет отвлекать исполнителей от основной работы.

Естественно, что при составлении отдельных разрезов, а также при сопоставлении их между собой необходимо применять общепринятую методику.

Работы должны сопровождаться топографическим обслуживанием для полной увязки отдельных разрезов. Проведение крупномасштабных топографических съемок в этой стадии работ нецелесообразно. Вполне достаточно составление теодолитными ходами

отдельных профилей в относительных отметках и их взаимная увязка.

Наиболее рациональным является составление разрезов в местах лучшего обнажения коренных пород, т. е. по оврагам и бортам долин. При детальных поисках разрезы составляются в масштабе по колонке 1 : 1 000, с последующим составлением профилей в масштабе 1 : 5 000. Необходимо иметь в виду, что даже при хорошей обнаженности коренных пород, для детальных поисков естественных выходов обычно бывает недостаточно и приходится проходить канавы, мелкие шурфы и даже производить мелкое ручное бурение. В первой стадии поисков можно руководствоваться следующими соображениями:

1. Образование месторождения осадочного типа неразрывно связано с механическим разрушением и выщелачиванием областей питания, заключающих месторождения данного металла или полиметаллические, в рудах которых присутствует уран.

В процессе работ актуальным является изучение направления сноса и установление областей питания, существовавших при формировании тех или иных свит. Методика этих исследований в применении к конгломератам разработана Н. Б. Вассоевичем.

2. Сравнение геохимической и палеогеографической обстановки, существовавшей при отложении отдельных свит, слагающих неогеновую толщу изучаемого региона, показывает, что эти условия были резко различными. Отложение соленосной и гипсоносной свит (залегающих ниже тонкослоистой и не развитых в изученном районе) происходило при незначительном размыве областей питания в значительно засолоненных бассейнах, в которых выпадали соли NaCl и гипс.

С достаточной достоверностью можно предполагать, что в этих условиях концентрация урана не происходила, так что данные свиты являются мало перспективными, и постановка в них детальных поисковых работ мало обоснована.

3. Как указывалось выше, иногда практически интересными являются полосчатые, вкрапленные и пятнистые карнотитовые руды. В отношении нахождения их в различных литологических типах пород наиболее перспективными из последних будут пористые известняки, мергели, средне- и крупнозернистые песчаники и в некоторых случаях мелкогалечные конгломераты. Наоборот, в плотных глинистых песчаниках, глинах и лёссовидных суглинках встречаются только пленочные руды, не переходящие на глубине в руды другого типа. Таким образом в первом приближении наиболее перспективными являются свиты, содержащие пористые известняки или средне- и крупнозернистые песчаники, а внутри отдельных свит — пласты известняков и песчаников. Залегание их между водонепроницаемыми горизонтами, предохраняющими перспективные пласты от выщелачивания, также является благоприятным признаком.

4. Осаждение урана из растворов может происходить в восстановительно-карбонатной среде. Следовательно, синеватые, сине-

вато-серые, зеленоватые и зеленовато-серые цвета песчаников и присутствие в них карбонатного цемента также являются положительным признаком; наоборот, красные, красновато-серые и розовые тона, характерные для окислительной среды, свидетельствуют, что эти песчаники мало перспективны.

5. В. И. Вернадским было высказано предположение, что ванадаты уранила осаждаются из разведенных растворов в присутствии органического вещества. «Концентрация урана органическим веществом — факт исключительный в его геохимической истории, так как все другие известные нам процессы способствуют его рассеянию»[1] .Скопление в этих породах органических остатков, в частности растительных, указывает на возможность нахождения здесь оруденения.

6. Битуминозность известняков или песчаников, лимонитизация их и присутствие окатышей глин также являются благоприятными признаками.

7. Парагенетические взаимоотношения урана с медью пока еще не ясны, так что, несмотря на нахождение урано-ванадатов совместно с медными минералами, рассматривать это явление как поисковый признак пока нельзя.

Суммируя изложенное, можно в настоящее время выдвинуть следующие поисковые признаки: а) расположение районов развития кайнозойских толщ вблизи палеозойских массивов, содержащих гидротермальные месторождения и размывавшихся в период накопления осадков в районе поисков; б) биогенный характер известняков; 3) трещиноватость и крупнозернистость пород; г) серовато-синие цвета, присутствие растительных остатков, битуминозность; д) лимонитизация.

Необходимо отметить, что при поисковых работах мы встречали пласты песчаников, отвечающие всем перечисленным требованиям, но без оруденения. Однако рудных песчаников, имеющих промышленное значение и не отвечающих сформулированным поисковым признакам, мы не встречали.

Работа по составлению основных литолого-стратиграфических разрезов должна сопровождаться массовым радиометрическим промером образцов и их люминесцентным анализом.

Радиометрические измерения, проводимые обычно на альфа-электрометре, надо начинать с определения «нормальной» радиоактивности литологически различных пород, слагающих исследуемую площадь. Большим количеством измерений образцов различных типов пород в районе определяется средняя их радиоактивность, характерная для данного района, и из этого большого количества измерений выводится средняя, нормальная радиоактивность, присущая той или иной литологической разности. Без определения нормального «фона» получаемые при измерении разрезов данные невозможно интерпретировать.

---

[1] Акад. В. И. Вернадский. Очерки геохимии, 1937.

Практика показала, что массовые промеры образцов целесообразнее всего производить в возможной близости от места работ, но обязательно в помещении; контрольные промеры надо проводить в стационарной лаборатории партии. Измерение образцов необходимо проводить с нескольких сторон. Радиоактивность при массовых промерах образцов определяется в делениях в минуту. Затем из образцов характерных разностей пород делаются порошковые пробы, и радиоактивность определяется в сравнении с эталоном для выяснения процентного содержания U_3O_8.

Здесь следует указать, что радиометрические промеры образцов в определении радиоактивности в делениях в минуту дают возможность судить только об относительной радиоактивности тех или иных пород. Никакого суждения о количественных содержаниях на основании этих промеров делать нельзя.

По массовым промерам образцов создается суждение о степени радиоактивности отдельных свит и слоев, их слагающих. В положительных случаях намечается повышение радиоактивности для некоторых слоев известняков, мергелей и песчаников.

При составлении разрезов необходимо брать с каждого пласта несколько образцов для промеров и в особенности обращать внимание на присутствие бурых пленок ожелезнения, растительных остатков и т. д. Подобные образцы должны промеряться, и малейшее повышение радиоактивности — точно фиксироваться. Чрезвычайно эффективно проводить радиометрические промеры гамма-счетчиками (полевыми радиометрами). Люминесцентному анализу следует подвергать все образцы, промеряемые радиометрически. Метод люминесцентного анализа разработан В. Г. Мелковым.

Наиболее трудоемким является составление первого «опорного» разреза; при составлении следующих разрезов работа идет обычно значительно быстрее. При проведении поисков несколькими отрядами первый разрез для разработки единого стратиграфического подразделения необходимо составлять совместно всем геологам партии. В этой же стадии работ при обнаружении повышенной радиоактивности в некоторых пластах необходимо попытаться установить причины этого явления.

Для этого обычно в местах повышенной радиоактивности задаются неглубокие горные выработки, канавы или мелкие шурфы. Выработки следует задавать не только в точках непосредственного повышения активности, но располагать их и по простиранию и вкрест линз от аномальной точки.

В наиболее благоприятных, вероятно сравнительно редких случаях, эти выработки покажут макроскопически видимое оруденение. В других случаях на незначительных глубинах могут быть обнаружены сильно ожелезненные зоны и ожелезненные растительные остатки, но без видимого оруденения. В этих случаях особо важное значение приобретают наблюдения за изменением активности с глубиной. Благоприятным признаком является нарастание активности при углублении.

Эти наблюдения удобнее и быстрее вести по измерению активности в образцах через интервалы по глубине не больше 25 *см*. Если охристые зоны идут непрерывно, то образцы надо брать через каждые 5—10 *см* по всем стенкам выработок.

Все образцы обязательно должны быть подвергнуты люминесцентному анализу.

На данной стадии работ также может быть рекомендовано применение эманационного (радонового) метода. Первоначально задается ряд коротких профилей вкрест простирания пород. Наиболее целесообразно задавать профили на расстоянии 20—25 *м* друг от друга. Длина профилей определяется зоной повышенной активности по разрезу, и они должны заходить на 4—5 *м* в нормальное поле (т. е. в зону неактивных пород). Расстояние между отдельными точками в профиле первоначально может быть принято в 3—4 *м*, с последующим сгущением в активных частях профилей. Глубина бурок весьма различна и зависит от многих факторов. Можно указать несколько типичных случаев:

а) Мощность наносов колеблется в пределах 3—4 *м*. При глубине бурок 0,5 *м* на графике радиоактивности максимум получается обычно очень широкий и установить, к какому пласту или к какой части мощного пласта приурочено оруденение, бывает весьма затруднительно. Углубление бурок до 1—1,5 *м* дает значительно более резкую картину, хотя некоторое смещение максимума от оруденения наблюдается и в этих случаях. Зачастую эманационная съемка не дает желательных результатов только потому, что пласты с оруденением перекрываются плотными четвертичными суглинками, не пересеченными скважинами. Плотные суглинки преграждают пути распространения эманации, и подсос по существу происходит сверху, т. е. из четвертичных отложений. Следовательно, до начала эманационных работ надо точно установить разрез четвертичных отложений и глубину проходки бурок. Можно рекомендовать в начале работ в нескольких местах пройти бурки до глубины 1 *м*, взять пробы почвенного воздуха, провести промеры и построить график активности. После этого вынуть зонды и углубить бурки до 1,5—2 *м*. Сравнение графиков наглядно покажет, целесообразно или нет углублять бурки.

б) Мощность наносов не превышает 0,5—1 *м*. В этом случае при глубине бурок 0,5—0,75 *м* обычно получаются достаточно отчетливые результаты. Доведение бурок до коренных пород в некоторых случаях дает более затушеванную картину.

в) Наносы меньше 0,25—0,50 *м*. В этом случае представляется целесообразным углублять бурки в коренные породы, если плотность последних не исключает возможности подсоса почвенного воздуха. Здесь также надлежит экспериментально определить оптимальную глубину бурок. В случае плотности пород хорошие результаты получаются от отпалки бурок незначительным зарядом какого-либо взрывчатого вещества.

Порядок операций следующий. Первоначально проходятся бурки с углублением в коренные породы на 0,5—0,8 *м*. При проходке бурки собирается буровая мука с каждых 25 *см* и альфа-электрометром определяется ее радиоактивность. Таким образом, по каждой бурке будут взяты две—три пробы и может представиться возможным зафиксировать повышение радиоактивности с глубиной. После проходки бурок устанавливаются зонды, отбираются пробы почвенного воздуха и строится график радиоактивности. Далее бурки простреливаются (заряд не должен превышать 200—300 *г* взрывчатых веществ, забивка бурок не производится), снова отбираются пробы воздуха и бурки углубляются до 1,5 *м* в коренные породы, после чего повторяются обе операции. Здесь сравнение графиков радиоактивности также наглядно показывает оптимальную глубину. При нарастании радиоактивности глубина бурок доводится до 3 *м* с трехкратной простреливкой, и тогда контуры оруденения обрисовываются достаточно отчетливо.

Оптимальные глубины бурок экспериментально устанавливаются по одному-двум профилям и при дальнейшем профилировании следует придерживаться этой глубины, проводя время от времени контрольные углубления отдельных выработок. При работе надо учитывать присутствие в породах пропластков тонкозернистых плотных непроницаемых песчаников. В этом случае бурки должны или пересекать их или необходимо задавать ряд мелких бурок по пласту для освещения его по всей мощности.

Наряду с эманационным методом при поверхностных поисках значительно более эффективным является применение гамма-счетчика, при помощи которого в короткие сроки можно исследовать большие площади и выявить малейшие отклонения от нормальной радиоактивности.

На этом первая стадия работ заканчивается или при благоприятных результатах переходит во вторую стадию.

Резюмируя сказанное, мы видим, что в этой стадии производится литолого-стратиграфическое расчленение изучаемой толщи путем составления ряда разрезов, выделение перспективных горизонтов, вскрытие их горными выработками и изучение их геофизическими методами по линиям разрезов с небольшими отклонениями по простиранию этих пластов. Основной принцип — широкое развитие радиометрических и люминесцентных работ на фоне литолого-стратиграфического изучения толщи.

Б. Увязка отдельных разрезов и прослеживание перспективных горизонтов по простиранию

Расчленение толщи. В процессе расчленения толщи обычно намечается несколько горизонтов, фиксирующих внимание геолога по ряду поисковых признаков. В благоприятных случаях эти горизонты наблюдаются во всех разрезах по району и хорошо увязываются друг с другом, в других случаях — они выпадают в со-

седних разрезах, и увязка их становится затруднительной. Кроме того, даже при наличии рудоносных горизонтов в ряде смежных разрезов оруденение в них оказывается развитым далеко не на всей площади распространения пласта, а локализуется на определенных участках, разделенных между собой пустыми зонами. Задачей второй стадии работ, кроме литолого-стратиграфической увязки разрезов, протягивания маркирующих горизонтов и границ свит, является прослеживание по простиранию перспективных горизонтов для отыскания оруденелых участков. Таким образом, если в первую стадию исследования все работы велись вкрест простирания пород, то во второй стадии они должны проводиться по простиранию.

Работа начинается с прослеживания перспективных пластов между отдельными разрезами. В хорошо обнаженных районах эффективнее всего производить работу отрядом, состоящим из геолога с одним или двумя коллекторами, геофизика-наблюдателя, снабженного гамма-счетчиком, и пяти-шести рабочих для проходки мелких канав, закопушек и шурфов. Все естественные обнажения пластов на полосе поисков должны быть детально осмотрены и проверены гамма-счетчиком.

В интервалах между обнажениями при незначительных мощностях четвертичных отложений задаются короткие канавы, расположенные через 20—50 *м* друг от друга. Все канавы также тщательно промеряются гамма-счетчиком. При мощных наносах в интервале между естественными обнажениями целесообразна постановка эманационных профилей с последующей проходкой шурфов в местах максимумов. При работе по прослеживанию перспективных горизонтов параллельно с работой гамма-счетчиком необходимо проводить измерение образцов по альфа-лучам.

При сильной фациальной изменчивости пород в изучаемом районе в смежных разрезах получаются резкие несоответствия, и они плохо увязываются между собой. Для установления более ясной картины приходится составлять ряд вспомогательных разрезов в том же масштабе, но только в наименее выдержанных частях перспективных свит; они обязательно должны быть инструментально увязаны с основными разрезами.

В естественных обнажениях, где выходят среднезернистые или пористые породы, характеризующиеся сильным ожелезнением, с большим количеством растительных остатков, но без видимого оруденения на поверхности, необходима проходка шурфов до глубины 5—8 *м*. При этом надлежит вести радиометрический и люминесцентный контроль над изменением активности с глубиной и появлением какой-либо минерализации. При проходке шурфов в их стенках целесообразно задавать горизонтальные бурки с последующей прострелкой для измерения почвенного воздуха радоновым методом. Буровая мука также промеряется с интервалов 0,25 *м*. Это дает возможность зарегистрировать оруденение, находящееся вблизи выработки, но ею не подсеченное.

При пологом залегании рудоносных или перспективных пластов возможно применение ручного или механического ударного вращательного бурения в комбинации с горными выработками. Американские геологи рекомендуют бурение по квадратной сетке с «конвертными» центральными контрольными шурфами.

При бурении весь материал, получаемый из скважин, должен просушиваться и измеряться на альфа-электрометре.

В результате этой стадии работ в рудоносных пластах отыскиваются и грубо приближенно оконтуриваются участки, содержащие оруденение той или иной интенсивности.

В. Предварительная разведка и опробование

Задачи предварительной разведки грубо оконтуренных оруденелых зон рудоносных пластов следующие.

1. *Полуинструментальная топографическая съемка участка.* Постановка мензульной или тахеометрической крупномасштабной съемки обычно требует много времени и больших денежных затрат. Полуинструментальная съемка, выполняемая одним техником-топографом с теодолитом для полигонометрии, определение основных высотных отметок, нанесение выработок и съемка ситуации буссолью проводятся быстро и дают вполне удовлетворительные результаты.

2. *Детальное литолого-стратиграфическое изучение поверхности и составление геологической карты участка в масштабах* 1 : 5 000, 1 : 2 000 и 1 : 1 000 (в зависимости от его величины, обнаженности, интенсивности проявления оруденения на поверхности и рельефа). Методика проведения этой работы обычная.

3. *Радиометрическая съемка участка.* Проведение съемки возможно: а) массовым промером образцов, б) гамма-счетчиком, в) эманационным (радоновым) методом, г) комбинированным методом. Выбор метода в основном определяется степенью задернованности участка и наличием в партии той или иной аппаратуры. При незначительной мощности четвертичных отложений, конечно, наиболее эффективным является применение гамма-счетчика.

Съемку следует начинать с проведения ряда профилей вкрест простирания пород, расположенных достаточно близко друг от друга. Для масштаба 1 : 1000 можно рекомендовать составление профилей через 20—25 *м*. Начало и конец всех профилей и зоны повышенных импульсов закрепляются на месте колышками и на плане участка наносятся в виде разноцветных линий по заранее разработанной легенде. Обычно при проведении радиометрической съемки на участке уже существует ряд геолого-разведочных выработок, в отвалах которых может находиться рудный материал, который сразу же повлияет на показание счетчика, поэтому при съемке отвалы и выработки надо обходить. По проведении указанного профилирования выделится ряд пластов или зон, обладающих повышенной активностью. Оконтуривание их можно произ-

водить сгущением профилей в аномальных зонах или прослеживанием счетчиком по простиранию.

Решающее значение при работе счетчиком имеет топографическая увязка всех профилей и аномальных зон на местности и на плане, так как горно-проходческие работы, необходимые для проверки аномалии, будут несколько отставать, и незакрепленные аномальные зоны могут быть вскрыты недостаточно точно.

Значительно более трудоемким является составление радиометрической карты с массовым промером образцов.

Работа проводится параллельно с геологическим картированием и геолого-разведочными работами. Сбор образцов для промеров производится со всех пластов в естественных и искусственных обнажениях, причем лучше с каждого пласта брать несколько образцов, обращая особое внимание на всевозможные выцветы, пленки, налеты, ожелезнение и т. д. Данные промеров наносятся на план по разработанной легенде цветными карандашами. Наиболее удобно вести все промеры непосредственно на участке, оборудовав для этого палатку, навес или тент.

Эманационный (радоновый) метод, являясь наиболее трудоемким, редко может быть применим для исследования больших площадей. Однако для участков, закрытых достаточно мощными наносами, он пока остается единственным.

Методика работ обычно заключается в проходке ряда профилей, расположенных вкрест простирания пород. Расстояния между профилями варьируют от 50 до 10 *м*, а между отдельными точками на профилях — от 2 до 5 *м*. Наиболее правильным является постановка эманационной съемки после исследования всей площади гамма-счетчиком или промера образцов, для предварительного оконтуривания намечающихся рудных зон.

При решении вопросов о продолжении или исчезновении оруденения на глубине эманационный метод дает достаточно четкие результаты.

Наиболее четкая картина получается при трех-четырехкратном измерении одного и того же профиля при разных глубинах бурок и их прострелке.

Порядок проведения работы следующий. Первоначально измеряется профиль при глубине бурок не больше 1 *м*. Далее бурки углубляются до 2 *м* и снова измеряется весь профиль. Если бурки вошли в плотные коренные породы, производится их прострелка и новый промер. Сравнение графика радиоактивности покажет нарастание или спадение последней. Нарастание активности указывает на присутствие на глубине более богатых руд пятнистого, полосчатого или вкрапленного типа. Спадение радиоактивности свидетельствует об отсутствии этих руд на глубине и позволит сделать предположение, что поверхностное оруденение представлено только пленочными рудами, не идущими на глубину. В некоторых случаях для получения еще более отчетливой картины приходится углублять бурки в третий раз и строить третью кривую

радиоактивности. Как указывалось выше, если бурки проходят в коренной породе, буровая мука должна тщательно собираться, измеряться и радиометрически исследоваться. Возможность суждения о характере измерения интенсивности оруденения на некоторой глубине крайне важна для определения генетических особенностей месторождения и, как следует из этого, его промышленной ценности.

В настоящее время разработан ряд методов радиометрических исследований поверхности, в частности съемка гамма-электрометром. Эти методы и условия их применения изложены в специальной брошюре.

4. *Оконтуривание оруденения горными работами по простиранию и по падению.* При расположении разведочных выработок следует исходить из того принципа, что объектом разведки должен являться оруденелый участок пласта в целом, а не отдельные заключенные в нем рудные линзы.

Выше указывалось, что в определенных участках рудоносных пластов наблюдаются скопления рудных линз, сложенных вкрапленными и полосчатыми рудами, здесь же наблюдается пропитывание карнотитом древесных остатков, образующее яркие пятнистые руды. Размеры таких оруденелых участков пластов, судя по примеру изученной нами группы месторождений и по литературным данным об американских месторождениях Колорадо и Юта, равняются многим десяткам и даже сотням метров. Размеры же отдельных линз по простиранию редко превышают 20—25 *м*, а обычно составляют 10—15 *м* и меньше. При незакономерном расположении рудных линз в пласте и их малых размерах никакая систематическая разведка невозможна.

Разведку же оруденелых участков можно проводить какой-либо строгой системой расположения разведочных выработок по достаточно густой сетке. В этом случае имеется возможность геометризировать оруденелую часть пласта, определить коэфициент рудоносности и содержание металла в тех или иных типах руд.

Осуществление разведочных работ по этой системе целесообразно в том случае, когда при очистных работах предусматривается выемка всего рудоносного участка с ручной отсортировкой промышленных руд и механическим обогащением бедных вкрапленников.

Совершенно естественно, что разведываться таким образом должны месторождения, обладающие значительными потенциальными запасами, могущими обеспечить после проведения разведочных работ организацию планомерных механизированных очистных работ.

Незначительные по масштабам месторождения должны разведываться со степенью достоверности запасов, достаточной для постановки очистных работ старательскими артелями без крупных капиталовложений.

Как указывалось, одним из решающих факторов в оценке

карнотитовых месторождений является наличие на некоторой глубине или на поверхности вкрапленных или полосчатых руд, так как пятнистые руды, дающие богатые скопления, ничтожны по своим размерам и распределение их в пласте весьма спорадическое.

В условиях маломощного четвертичного покрова наиболее рациональным является оконтуривание рудоносных участков канавами, задаваемыми вкрест простирания пород, и шурфами (вертикальными или наклонными), либо мелкими штольнями, проходимыми по рудному телу для изучения изменения характера оруденения по падению. Канавы необходимо углублять в коренные породы минимум на 1 *м*, так как в поверхностной разрушенной трещиноватой зоне оруденение имеет весьма нечетко выраженный «размазанный» контур. Канавы задаются на расстоянии 20—30 *м* друг от друга с последующим сгущением, необходимость которого определяется данными геофизических работ.

Зачастую канавы дают весьма неясные результаты, так как, благодаря легкой растворимости карнотита почвенными и поверхностными водами и выпадению его в приповерхностной зоне, в подстилающих и перекрывающих породах по трещинам появляются пленочные руды, создавая впечатление очень мощного оруденения, резко теряющего мощность на сравнительно небольших глубинах.

Если к началу разведочных работ основной рудоносный горизонт точно не установлен, закладку шурфов целесообразно производить, согласуясь с данными эманационной съемки.

Кроме того, надо учитывать, что на одном участке возможно присутствие нескольких рудоносных горизонтов, совершенно различных по характеру оруденения и генезису, почему необходимо проверять горными работами все радиометрические аномалии.

5. *Опробование*. Присутствие в одном месторождении, а зачастую и в одном забое нескольких текстурных типов руд, общая неравномерность распределения карнотита в рудовмещающих породах, обычно незначительная интенсивность оруденения, плохая видимость карнотита в подземных забоях и его хрупкость затрудняют опробовательские работы и заставляют вести их особенно тщательно.

Радиоактивные свойства карнотитовых руд позволяют при помощи различных электрометров производить опробование непосредственно забоев и обнажений. Однако количественное определение металла в руде может быть сделано только по взятой и обработанной пробе при последующем ее радиометрическом или химическом анализе.

Опробование подземных выработок осложняется плохой видимостью карнотита и невозможностью отличить при современном освещении выработок оруденелые участки от безрудных.

Рациональное освещение подземных выработок — один из наиболее существенных вопросов в технике разведки этого вида руд.

Одним из методов контроля в забоях является радиометрическое измерение стенок забоя. Наиболее удобно это производить гамма-электрометром. Гамма-съемка подземных выработок одного из месторождений, проведенная в 1936 г. гамма-электрометром Кольгерстера, дала очень четкие результаты. Особенно отчетливо фиксировались рудные прожилки, если электрометр помещался в свинцовую оболочку, имеющую одну узкую щель. Применяя такой электрометр, можно фиксировать достаточно точно не только оруденение в пустых породах, но и изменение в интенсивности оруденения, что чрезвычайно помогает правильному размещению опробовательских борозд и секций.

Применение в подземных выработках универсального альфа-электрометра не дает четких результатов и рекомендовано быть не может.

В нашей практике нам приходилось применять следующие методы отбора проб: а) точечное опробование, б) бороздовое опробование, в) шпуровое опробование, г) задирковое опробование, д) валовое опробование. Обычно при валовом и задирковом опробовании на месте отбора пробы производится ручная рудоразборка по цвету с определением выхода рудного концентрата.

а) Точечное опробование. Возможности применения точечного способа опробования крайне ограничены. Он находит применение только в условиях, когда оруденение выражено вкрапленными или полосчатыми рудами и имеет мощность не меньше 1 — 1,5 *м*. Такое опробование, параллельно с бороздовым, было произведено на северо-восточном участке одного месторождения, где оруденение представлено бедными вкрапленными рудами. Площадь опробованных забоев в среднем равнялась 3 — 3,5 *м*. С этой площади было взято в шахматном порядке до 40 образцов. Начальный вес проб равнялся 6 — 8 *кг*. В некоторых старательских забоях юго-западного участка, где оруденение выражено полосчатыми рудами, точечное опробование также дало положительные результаты. В забоях, где имеются полосчатые и вкрапленные руды, точечный способ дал резкие расхождения с бороздовым опробованием. Присутствие в забоях пятнистых руд исключает возможность применения точечного опробования ввиду резко различных содержаний в этих типах руд.

Следует указать, что яркость карнотита и общая неравномерность оруденения затрудняют объективность отбора отдельных точек и вызывает необходимость постоянного технического контроля над рабочими. Неравномерная плотность песчаников также затрудняет опробование.

Вследствие изложенных соображений точечный метод, несмотря на свою экономическую эффективность, в нашей практике не нашел широкого применения и рекомендован быть не может.

б) Бороздовое опробование находит широкое применение для вкрапленных и полосчатых руд при раздельном и совместном их нахождении.

Борозды, как обычно, задаются по линиям максимальной изменчивости интенсивности оруденения. Преобладающей формой рудных тел является линзообразная, и в ней линией наибольшей изменчивости будет направление, перпендикулярное к длинной оси, по «толщине» линзы. Наиболее удобно проводить бороздовое опробование в подземных горных выработках, в канавах борозды нередко дают неточные результаты и техника отборки проб очень затруднена.

Расположение борозд в передовом забое, боковых стенках, почве и кровле выработки определяется положением рудной линзы по отношению к проходимой выработке и подчинено общим привилам. Неравномерность оруденения заставляет располагать борозды через короткие интервалы.

Передовой забой, идущий по рудному телу, опробуется через 0,5 — 1 *м* по стенкам и кровле выработки; пробы берутся через 0,5 *м*. Сечение борозд принимается обычно 10×5 *см*, так как при меньшем сечении веса проб получаются незначительными.

Наибольшая трудность заключается в технике отбора пробы, ибо вследствие хрупкости и рыхлости карнотита он легко превращается в пыль и рассеивается, не попадая в пробу, так что в этом случае она получается заведомо разубоженной. Практика отбора бороздовых проб показала, что необходимо тщательно очищать забой перед опробованием от пыли, сметая ее веником или мягкой щеткой со стенки. Перед началом работы забой должен быть закрыт плотным брезентом (мешковина применена быть не может, так как не удерживает пылеватых частиц), и при отбойке борозды необходимо добиваться, чтобы весь материал попал на брезент. По окончании работы стенки забоя опять обметаются, и все мельчайшие частицы сметаются на брезент.

Смачивание забоя перед началом опробования, испытанное нами по совету Н. В. Барышева, не дало резкого уменьшения распыления, а трудности в доставке воды в условиях Средней Азии заставили отказаться от этой меры предосторожности.

Транспортировка пробы от забоя до места обработки и ее хранение также должны производиться в плотной таре, исключающей возможность распыления.

Бороздовые пробы обычно берутся секционно, и длина секции определяется или «толщиной» линзы или равномерностью оруденения в направлении взятия пробы. Уже указывалось, что обычно наиболее интенсивное оруденение приурочено к центральной части линзы и обедняется по направлению к висячему и лежачему боку, переходя в бедную вкрапленность в боковых породах. Таким образом, в хорошо выраженных линзах имеется как бы пять зон интенсивности оруденения по направлению от висячего бока к лежачему: 1 — убогая вкрапленность в висячем боку; 2 — бедные руды; 3 — относительно богатые руды (центральная часть линзы); 4 — бедные руды; 5 — убогая вкрапленность в лежачем боку. В этом случае наиболее правильным является разделение

Позднее стираются и эти отличия, повсеместно идет осаждение борозды на пять секций с несколько искусственным определением их границ.

Особенно важно проводить секционное опробование, беря 1—5 секций, так как по мощности линзы обычно довольно значительны, а по содержанию бедны. Одна проба для всех зон оруденения может показать непромышленное содержание. При отсутствии указанной зональности, как это бывает в линзах вкрапленных руд, и большой мощности секции берутся не больше 0,5 *м* для возможности выделения обогащенных участков.

При очистных работах в карнотитовых месторождениях всегда производится ручная сортировка по цвету рудного материала от пустой породы, и в дальнейшую переработку поступает не опробованная в забое бороздой руда, а некоторый ручной концентрат (иногда с очень незначительным выходом), в котором содержание больше, чем в руде. Надо оговорить, что при плохо организованных очистных работах вся мелочь уходит в отвал, и карнотит, вследствие своей хрупкости, при бурении, взрывных работах и разборке в забое измельчается и частично попадает в мелочь, обогащая ее. Это обычная картина на всех старательских работах. Следовательно, при последующей правильной эксплоатации в данных бороздовых проб существует систематическая ошибка, и при дальнейших расчетах необходимо вводить поправочный коэфициент, величина которого устанавливается экспериментально, как это будет показано ниже. При опробовании бороздовым методом бедных руд, содержание в которых по данным этого опробования несколько ниже кондиционного, введение коэфициента на повышение содержания в ручном концентрате может сыграть решающую роль в оценке месторождения. Учитывая это соображение, можно утверждать что опробование месторождения только бороздовым методом недостаточно и не позволит вынести окончательного суждения о содержании металла в полученных при эксплоатации рудах.

Опробование бороздами зоны пятнистых руд невозможно, так как размеры рудных «пятен» не превышают в диаметре 30—50 *см* при очень высоком содержании металла в рудных пятнах и почти полном отсутствии в боковых породах. Таким образом, борозды будут характеризовать только данное пятно, да и то с резкими колебаниями в содержании при различном направлении пересечения пятна.

Опробование пленочных руд бороздами также дает искаженные результаты. Как указывалось, руды этого типа отлагаются только по трещинкам в приповерхностной разрушенной зоне различных пород. Распределение трещинок в породе и корочек карнотита в трещинках исключительно непостоянное. Три вертикальные бороздовые пробы, взятые в 0,10 *м* друг от друга, дают резко различные результаты. Кроме того, трещиноватость и сыпучесть приповерхностной зоны почти исключают возможность выбить борозду более или менее правильной формы, а содержание метал-

ла в этих рудах настолько низкое, что в пробах, взятых без обогащения, оно почти всегда находится в пределах точности анализа.

в) Задирковое опробование применимо для всех типов руд. Техника отборки задирковых проб обычная, только выравнивание и очистка забоя перед взятием пробы должны быть особо тщательными. Вся проба отбирается обязательно на плотный брезент, отбойка ее в забое должна производиться ручным способом без применения взрывных работ, чтобы исключить возможность разбрасывания рудного материала. Вся мелочь должна аккуратно собираться на брезент.

Длина задирки при опробовании канав, идущих вкрест простирания рудных линз, определяется шириной канавы, ширина задирки — мощностью рудной линзы в данном сечении; в канавах, идущих по простиранию, длина задирки варьирует от 1 до 3 *м*, в редких случаях 5 *м*. В горных выработках площадь задирки определяется площадью, занимаемой рудной линзой в забое. Глубина задирок различна и колеблется от 15 до 50 *см*. Начальный вес пробы колеблется в пределах от 40 до 120 *кг*.

Задирковая проба обычно подвергается ручному обогащению по цвету. Порядок работы выработан следующий.

После отбора начальная проба замеряется ящиками или, если это возможно, взвешивается. Эта операция должна производиться на том же брезенте, где была взята проба, чтобы избежать потери мелочи.

Установив первоначальный объем или вес пробы, с брезента, где находится проба, удаляют в ящик пустую породу, на брезенте остаются мелочь и оруденелые куски породы, составляющие ручной концентрат. Отбор кусков породы с оруденением из пустой породы ведет к потере мелочи и разубоживанию пробы.

Далее определяется объем или вес концентрата и — для контроля — объем отобранной пустой породы. Концентрат упаковывается в плотную тару и поступает в обработку. Определив первоначальный объем породы и объем концентрата, легко высчитать процент выхода концентрата. В некоторых пробах надо обрабатывать и анализировать отсортированную пустую породу для учета потерь при обогащении. Естественно, что при меньшем проценте выхода концентрата, содержание металла в нем будет больше.

В практике разведки карнотитовых месторождений приходится решать вопросы о возможности ручного обогащения различных типов руд с повышением содержания металла в концентрате до промышленных кондиций и с установлением необходимой степени обогащения. Примерами могут служить пленочные руды, обогащение которых даже при выходе концентрата в 5 — 10% не дает никаких ощутимых результатов, тогда как полосчатые и вкрапленные руды сравнительно легко обогащаются с выходом концентратов от 25 до 50%.

Решение вопроса обогатимости руд простыми методами зачастую имеет доминирующее значение в определении промышленной ценности месторождения.

Для повышения содержания металла в концентрате имеет значение крупность кусков в начальной пробе. Чем крупнее материал начальной пробы, тем скорее производится рудоразборка, выход концентрата и содержание металла в нем уменьшаются, а содержание металла в пустой породе увеличивается. При постановке задиркового опробования необходимо экспериментально установить допустимую крупность кусков в начальной пробе. Для этого берется несколько параллельных проб в одном забое и обрабатывается при различных величинах кусков породы в начальной пробе. Определение крупности удобно производить в ящиках с решетчатой крышкой. Размеры ячеек $7 \times 7 \times 7$ *см*, $5 \times 5 \times 5$ *см*, $3 \times 3 \times 3$ *см*.

Нужно учитывать, что излишнее измельчение первоначальной пробы вызовет выкрошивание, перемешивание его с мелочью и разубоживание концентрата.

Задирковые пробы с последующей сортировкой горной массы и отбором ручного концентрата дают достаточно точное представление о качественном составе руды, которая будет получаться при очистных работах. В противоположность бороздовым пробам здесь получаются данные для отсортированной руды.

Являясь наиболее правильным методом опробования карнотитовых месторождений, задирковый метод не может заменить все методы вследствие своей громоздкости и дороговизны.

Хорошие результаты получаются при комбинировании бороздового и задиркового методов. Как упоминалось, при бороздовом методе допускается систематическая ошибка, так как при эксплоатации производится обогащение руд ручной рудоразборкой, и для интерпретации результатов опробования необходимо введение поправочного коэфициента. Отбирая часть проб параллельно задирковым методом и сопоставляя результаты, можно получить поправочный коэфициент для данного типа месторождения и руд. Практически можно на месте отборки каждой пятой, восьмой или десятой бороздовой пробы отбирать еще и задирковую пробу. При правильно поставленном опробовании величина коэфициента колеблется от 1,2 до 1,5.

Сочетание бороздовых проб с задирковыми возможно только при опробовании полосчатых и вкрапленных руд. Опробование пятнистых и пленочных руд возможно только задирковыми или валовыми пробами.

В канавах, расчистках и мелких шурфах наиболее правильным является опробование задирковым методом. Необходимо помнить, что в канавах поверхностный слой коренных пород должен быть снят минимум на 0,5 — 1 *м*, после чего должна отбираться проба.

г) Шпуровое опробование. Этот метод находит при-

менение при проходке передовых и боковых шпуров из горных выработок и с поверхности по коренным породам для эманационной съемки. Как исключение, задаются шпуры для подсечения оруденения, находящегося вблизи горной выработки, но ею неподсеченного.

В некоторых случаях важно установить повышение радиоактивности пород в каком-либо направлении. В практике разведки карнотитовых месторождений шпуры проходятся ручным бурением, и глубина их редко превышает 3 *м*. При этом методе пробой является буровая мука (если бурение производится без воды) или буровая грязь (если бурение шпуров идет с водой).

Применение шпурового опробования в шпурах, проходимых вертикально вверх или с крутым восстанием, мало рационально, так как сбор буровой муки крайне затруднителен. Сбор буровой грязи в вертикально и наклонно падающих шпурах, которые всегда бурятся с водой, производится при помощи ложки-чищалки. Во избежание разбрызгивания пробы при бурении на бур надевается кожаная манжетка, закрывающая устье шпура.

Пробы по шпурам отбираются секционно, обычно через 25 *см*. В случае углубления шпуров после прострелки, как это часто делается при эманационных работах, первые 25 — 30 *см* не опробуются, так как на этом интервале материал крайне трещиноват и все время происходит осыпание стенок шпура.

Сбор буровой грязи удобнее всего производить в жестяные банки из-под консервов, закрывая их после отбора пробы. Просушку пробы также следует производить в этих банках.

д) Валовое опробование. Валовое опробование производится общепринятыми методами, с последующей рудоразборкой пробы и выделением рудного концентрата. Методы отборки рудных концентратов изложены выше. Применяется валовой способ чаще всего как выборочное, контрольное опробование. В некоторых случаях валовое опробование применяется для получения больших проб, необходимых при полузаводских испытаниях. Кроме того, если возникает необходимость классификации руды по ее естественной крупности и проценту мелочи, это точнее всего решается валовой пробой.

Заканчивая на этом описание методов опробования, находящих применение при разведке карнотитовых месторождений, остановимся несколько на вопросе обработки проб.

Обработка проб должна выполняться в условиях, исключающих развеивание, распыление мельчайших частиц пробы, лучше всего в помещении. При измельчении проб, которое обычно производится в больших и малых чугунных ступах, последние закрываются железной заслонкой, имеющей отверстие для песта.

Измельчение проб на плитах недопустимо, так как неизбежно влечет за собой значительные потери мелких частиц. Все инструменты для сокращения проб, как то: ступы, сита, железные листы для смешивания и т. д., после каждой операции должны тща-

тельно обметаться, а все пылеватые частицы, осевшие на них — сметаться в пробу.

Схемы обработки проб зависят от начального веса пробы и вырабатываются согласно общему положению. Расчеты производятся по формуле Ричардса — Чечетта $Q = kd^2$.

Для полосчатых и вкрапленных руд величина коэфициента k принимается 0,3 — 0,5, для пленочных и пятнистых руд — 0,5 — 0,8.

Применение более сложных расчетов и в частности формулы Демонда и Хальфердана ($Q = kd^a$), по мнению Барышева практически не актуально ввиду незначительных весов проб.

Число приемов сокращения для задирковых проб обычно три-четыре для бороздовых и один-два для точечных проб. Шпуровые пробы поступают в анализ без сокращения. Определение металла в пробах производится радиометрическим и химическим путем.

Радиометрические анализы проб выполняются в полевой лаборатории. Совершенно обязательно все количественные определения металла в образцах и пробах производить только в порошках, так как всякое измерение в образцах дает только относительное представление о радиоактивности измеряемой поверхности образца.

Для большей точности измерения необходимо иметь в партии эталоны, сделанные для руд, близких по своему минералогическому составу к разведываемым рудам. Все пробы передаются на радиометрический анализ два раза под истинным и зашифрованным номерами, и только при их схождении можно интерпретировать результаты. Кроме того, обязательно передавать контрольные пробы в центральные радиометрические лаборатории для внешнего контроля метода. Химическому анализу надо подвергать при небольшом количестве проб все пробы, а в случае массового опробования — только контрольные пробы в количестве 20—30%, анализируя каждую пробу два раза.

В результате предварительного прослеживания и оконтуривания оруденелых участков необходимо совершенно четко ответить на следующие основные вопросы, определяющие необходимость дальнейших, обычно очень трудоемких и дорогостоящих детальных разведочных работ:

1) генетический тип месторождения и присутствие на некоторой глубине промышленного типа оруденения;

2) масштабы месторождения по поверхности;

3) основные черты морфологии рудных линз;

4) характерное содержание металла в рудах различных типов на поверхности и на некоторой глубине;

5) методы опробования.

Возможность применения в подземных выработках гамма-счетчика практически не проверена. Вероятнее всего, что этот метод и в условиях подземных выработок окажется весьма эффективным.

Г. Детальная разведка

Постановка детальных разведочных работ на карнотитовых месторождениях может быть обоснована только после установления крупных масштабов месторождения и присутствия промышленных типов руд.

Хотя все известные месторождения карнотита и тюямунита на изучаемом нами регионе приурочены к мезо-кайнозойским породам и имеют много общих черт в геологическом строении, условия залегания их резко отличны друг от друга, что определяет различные методы детальной разведки. Если опыт поисков и предварительных разведок этого типа месторождений у нас невелик, то опыт детальных разведок еще меньше. Поэтому здесь мы ограничимся краткой характеристикой нескольких систем разведок, производящихся на различных месторождениях.

Американские месторождения приурочены к определенному горизонту (формация Моррисон), залегающему горизонтально или наклоненному под очень маленькими углами. Рельеф местности представляет слабо всхолмленные плато, прорезанные сравнительно глубокими и узкими долинами (каньонами), в бортах которых обнажается рудоносная формация.

Оруденение имеет линзообразный характер; размеры линз, а также содержание металла в них резко варьируют.

В пласте имеются зоны, обогащенные рудными линзами, и пустые, безрудные участки.

В первоначальную стадию разведки и разработки месторождений, связанных с формацией Моррисон, господствовало мнение, что все оруденение приурочено к бортам каньонов и уходит в глубину пласта на незначительное расстояние. Это определяло разведку месторождений штольневыми работами с последующим развитием штреков, квершлагов и ортов. Большинство выработок при подсечении рудных линз использовались как эксплоатационные. Развитие разведочных и очистных работ показало, что оруденение идет на значительные глубины от бортов долин, и разведку начали проводить буровыми скважинами сперва ручного, а затем ударно-вращательного бурения. В первую стадию буровых работ скважины располагались линиями, параллельными направлениям каньонов, а в настоящее время проводится бурение по квадратной сетке. Густота сети доводится до 10 *м*, и во многих квадратах проходятся контрольные конвертные шурфы. Глубина скважин, проходимых в настоящее время, 40 — 50 *м*. Станок для бурения монтирован на платформе, имеющей гусеничный ход и передвигаемой с точки на точку трактором или лебедкой. В изучаемом регионе горизонтально залегающих карнотитовых месторождений мы не знаем.

Месторождения, связанные с пологопадающими пластами (10— — 12°), приурочены к крыльям крупных антиклинальных складок и разведываются линиями шурфов, задаваемых по простиранию

пласта. Глубина по вертикали пересечения пласта первой линией шурфов 25 *м*. Эта глубина должна быть первым эксплоатационным горизонтом. Вторая линия шурфов подсекает рудоносный пласт на глубине 40 *м*, т. е. на 15 *м* по вертикали ниже первого горизонта. Эта глубина является вторым горизонтом.

Расстояния между шурфами на линиях 50 *м*, вторая линия расположена в затылок первой. На первом и втором горизонтах развивается система штреков и ортов, сбивающих шурфы, и восстающих наклонных гезенков, соединяющих горизонты и разведывающих пласт по восстанию и падению.

Эта система разведочных работ безусловно осветит месторождение с исчерпывающей ясностью, но она трудоемка и дорога.

Целесообразнее часть шурфов заменить буровыми скважинами, задавая их по значительно более густой сетке. Порядок работ рекомендуется следующий.

После предварительной разведки выхода пласта, в процессе которой проходятся мелкие шурфы до глубины 10 — 15 *м*, устанавливающие контуры оруденелых участков и присутствие промышленного типа руд, детальная разведка начинается с линии бурения скважин на глубину первого эксплоатационного горизонта. Если месторождение перекрывается 8 — 12-метровой толщей четвертичных галечников, бурение рациональнее всего проводить комбинированным ударно-вращательным станком. Радиометрическое и минералогическое изучение керна и буровой мути позволит фиксировать оруденение.

Здесь также целесообразна будет постановка караттажных работ. Таким образом, буровыми работами можно выделить оруденелые участки пласта, дальнейшую разведку которых надо проводить горными работами, а бурение переносить на вторую линию, несколько приблизив ее к первой. Горные работы надо сопровождать геофизическими, эманационными наблюдениями по боковым шпурам с прострелкой их.

Сочетание буровых, горных и геофизических работ дает максимальный эффект в разведочных работах.

Месторождения, также приуроченные к крылу крупной антиклинали, но при падении пластов 30 — 40°, разведываются до глубины 20 — 25 *м* системой штолен, задаваемых вкрест простирания, с последующим развитием штреков, ортов и гезенков. Так как по условиям рельефа штольни возможно задавать на расстоянии 50 — 100 и больше метров друг от друга, в интервалах между ними задаются буровые скважины колонкового бурения с подсечением рудоносного пласта на том же горизонте. Второй горизонт разведывается колонковыми скважинами, заданными по простиранию пласта через 25 *м* друг от друга. Буровые и горные работы сопровождаются геофизическими.

Месторождения, связанные с крутопадающими пластами, в сильно изрезанном рельефе, разведываются системой штолен, задаваемых по простиранию пласта на расстоянии 25 *м* по вертика-

ли друг от друга, с последующим развитием горизонтальных ортов и вертикальных гезенков и в некоторых случаях шурфами, проводимыми по рудному пласту с ортами и штреками.

Все горные работы сопровождаются эманационной съемкой, проводимой по горизонтальным или наклонным боковым шпурам, заменяющим орты. Вертикальные шпуры, задаваемые в почве и кровле, могут частично заменить гезенки.

Заканчивая этими примерами описание систем детальных разведочных работ, мы считаем, что выбор той или иной системы детальных разведочных работ зависит от целого ряда факторов, присущих данному месторождению, поэтому разработка стандартных методов практически затруднена.

Основным является точное определение целевой установки работы: а) разведка отдельных рудных линз для обеспечения маленького предприятия с последующей добычей маломеханизированными работами; б) разведка крупных оруденелых участков пласта с эксплоатацией их сравнительно крупными механизированными работами. Условия залегания рудоносного пласта, содержание полезных компонентов и целевая установка определит выбор метода и объема детальных разведочных работ.

В заключение нужно отметить, что многое из предложенного здесь находится в стадии разработки и проверки, многие приемы и методы здесь не описаны из-за их дискуссионности. При развитии разведочных и исследовательских работ изложенные методы и приемы будут непрерывно изменяться, дополняться и вырабатываться новые, более совершенные методы.

Б. А. Петрушевский

КАРНОТИТОНОСНЫЕ НЕОГЕНОВЫЕ ФАЦИИ И МЕТОДИКА ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Исследования, связанные с неогеновой толщей, и, прежде всего, поиски в ней месторождений урановых руд, были весьма затруднены тем, что отсутствовала какая-либо единая схема подразделения неогена, не была установлена его стратиграфия.

Некоторые геологи полагали, что вряд ли вообще можно достаточно надежно произвести стратификацию неогеновой толщи, так как считали ее образованием «фаций подножий», осадками отдельных многочисленных конусов выноса, речных долин, мелких изолированных водоемов и т. д., сопоставления которых друг с другом, естественно, исключительно трудны, а в ряде случаев и невозможны.

Для выяснения этих вопросов было проведено стратиграфо-литологическое расчленение неогеновой толщи и нахождение и прослеживание фаций, наиболее благоприятных с точки зрения их возможной карнотитоносности.

Основные результаты работ описываются ниже. Логичнее было бы начать с рассмотрения применявшейся методики полевых исследований, но мы умышленно относим ее изложение на конец, чтобы на примере уже изложенного материала отчетливее и нагляднее показать особенности этой методики и возможности ее применения при аналогичных исследованиях.

Стратиграфия

Неогеновые отложения слагают зону невысоких предгорий, полукольцом — с севера, востока и юга — опоясывающих пониженную равнинную часть и отделяющих ее от высоких палеозойских хребтов, по склонам которых развиты мезозойские (кое-где триасовые, в большей степени, юрские, но в основном меловые) и палеогеновые породы.

Неогеновые отложения северной предгорной зоны удалось разбить на шесть свит, которые устанавливаются и прослеживаются на всем протяжении зоны, несмотря на очень значительные изменения литологического состава, почти в каждом районе северных предгорий (за исключением разве только крайнего востока). Интересно отметить, что предлагаемая нами схема оказывается иногда чрезвычайно сходной со схемами, выработанными нашими предшественниками для отдельных районов, что подтверждает ее правильность. Распространить свои схемы на всю полосу предгорий предыдущие исследователи не могли, так как работали на изолированных участках, строение которых считалось различным для каждого данного района.

Основанием для выделения свит в начале работ обычно служили литологический состав, текстурные и структурные особенности отложений. Позднее, когда мы убедились, что свиты везде занимают определенное стратиграфическое положение и количество их в разрезе остается постоянным, стало возможным использование и этого признака, что оказалось особенно существенным в районах, где породы значительно меняются в фациальном отношении (на востоке).

Соленосная и кирпично-красная свиты. Нижним членом разреза является соленосная свита на западе и кирпично-красная в остальной части района. Соленосная свита представлена чередующимися глинами различной (нередко яркой) окраски и песчаниками с пластами, линзами и включениями каменной соли и в меньшей степени гипса; мощность ее превышает 1 000 *м*. Место соленосной свиты в разрезах восточной части района занимает кирпично-красная свита,[1] сложенная преимущественно глинами яркокрасных цветов, с многочисленными прослоями песчаников, пудингов, гравелитов, а иногда и мелкогалечных конгломератов. Мощность свиты колеблется от 200 до 400 *м*.

Соотношение обеих указанных свит не может еще считаться вполне установленным. Нам представляется более правдоподобным сопоставлять соленосную и кирпично-красную свиты, рассматривая их как одновозрастные образования.

В нижних своих частях эти свиты могут принадлежать еще палеогену, в верхней — уже неогену (миоцену).

Глинисто-песчаниковая свита. Следующая кверху свита также представлена существенно по-разному на западе и на востоке района. В первом случае она выражена многократно чередующимися песчаниками и глинами (преобладают первые) с пластами и лин-

[1] Мы понимаем под кирпично-красной свитой только нижнюю часть толщи, выделяемой обычно под этим названием и обозначаемой на картах индексом $P_{кр} + N$. Только эта нижняя часть обладает кирпично-красным цветом и сложена главным образом глинами. Верхняя ее часть, розового, или буро-розового цвета, выраженная преимущественно песчаниками, выделена нами в качестве самостоятельной единицы под названием глинисто-песчаниковой свиты и описывается ниже.

замн гипса; каменная соль здесь уже не наблюдается. В некоторых прослоях глин найдены пресноводные остракоды. Мощность свиты достигает 1 200 — 1 300 *м*.

На востоке, в области развития кирпично-красной свиты, породы последней постепенно сменяются кверху осадками глинисто-песчаниковой свиты, состоящей преимущественно из песчаников, переслоенных глинами, пудингами, гравелитами и мелкогалечными конгломератами. Значение грубообломочных пород резко возрастает к востоку, где свита иногда наполовину сложена конгломератами. Общий цвет ее пород красновато-розовый, отчего ее иногда выделяют под названием розовой. Мощность колеблется около 200 — 250 *м*.

Некоторые геологи, относя соленосную свиту еще к палеогену, сопоставляли гипсоносную с кирпично-красной в прежнем, более широком понимании ее объема. В нашем понимании гипсоносной свите соответствует только глинисто-песчаниковая свита, т. е. верхняя часть кирпично-красной свиты, в ее прежних границах.

Тонкослоистая свита. Вышележащая свита, получившая у нас название тонкослоистой, распространена шире, чем две описанные, и является значительно более выдержанной по своему составу. Характерная ее особенность заключается в тонком чередовании слагающих ее пород, нередко слоями всего по 0,2 — 0,4 — 0,6 *м*, что придает ее разрезам тонкополосчатый, ленточный вид. Эта тонкая слоистость не нарушается даже в тех случаях, когда присутствуют и более мощные прослои. На востоке эта характерная особенность сглаживается, а местами теряется.

Сложена тонкослоистая свита ярко окрашенными (в свежем состоянии) глинами и мелко- и тонкозернистыми песчаниками серых тонов. Грубообломочные породы — гравелиты, конгломераты — имеют подчиненное значение, за исключением восточных районов, где свита иногда более чем наполовину представлена конгломератами.

В ряде районов, главным образом на западе, в свите содержатся мощные (до 10 — 12 *м*) прослои серых полимиктовых песчаников, косослоистых, с включениями глин, с растительными остатками, преимущественно древесными и нередко очень крупными (стволы до 0,3 — 0,5 *м* в диаметре и до 5 *м* длины). Эти песчаники получили у нас название песчаников типа «рудоносных» (в кавычках) благодаря очень большому их сходству с песчаником, содержащим карнотитовое оруденение.

Отличием разрезов западной части является также присутствие многочисленных тонких (0,1 *м*) прослоев мергелей и известняков, нередко битуминозных.

В некоторых районах в песчаниках содержатся медные минералы (азурит, малахит, куприт и др.).

В трех пунктах обнаружены признаки карнотитового оруденения, причем здесь везде к этим же горизонтам приурочено омеднение (в одном случае медные минералы встречаются непосредствен-

но вместе с карнотитом); в двух из этих пунктов урановое оруденение подчинено песчаникам типа «рудоносных».

Помимо растительных остатков (стволы, сучья, детрит камыша и осоки, в одном случае лист *Phragmites oeningensis*), в породах тонкослоистой свиты нередко встречаются пресноводные остракоды, мелкие пелециподы и гастроподы.

Мощность свиты колеблется от 200 до 450 *м*, резко возрастая к западу — до 1 200 *м*.

Толстослоистая свита. Вышележащая свита характеризуется значительно большей мощностью составляющих ее чередующихся слоев — до 4 — 6 *м*, что придает ее разрезам вид толстослоистых, отчего она и получила свое название. Песчаников здесь больше, чем в нижележащей, они преобладают над глинами, будучи представлены как полимиктовыми, так и глинистыми разностями. В огромном большинстве случаев цемент их (как и в тонкослоистой свите) карбонатный. Довольно многочисленные прослои пудингов и гравелитов увеличиваются в количестве и мощности к востоку при одновременном возрастании грубозернистости обломочного материала; появляются горизонты мелко- и даже крупногалечных конгломератов, которые почти целиком слагают свиту на одном из участков.

Значительным развитием пользуются песчаники типа «рудоносных», особенно на западе, где их мощность достигает 15—18—20 *м*, а количество прослоев — 18—20. В ряде пунктов в этих песчаниках найдены карнотитовые рудопроявления или обнаружены повышенные активности без видимого оруденения; оруденение констатировано также и в песчаниках другого состава.

Кроме многочисленных растительных остатков (совершенно того же характера, что и в тонкослоистой свите) и остракод, близких к нижележащим, но встречающихся реже и в меньшем количестве, в породах толстослоистой свиты иногда попадаются обломки костей млекопитающих и был найден один зуб *Elephas* ex gr. *meridionalis* N e s t i.

Мощность свиты колеблется от 200 до 500 *м*.

Переходная свита. Следующая свита выделяется менее четко, и в ряде случаев проведение ее верхней и нижней границ является несколько условным, отчего она и получила от нас наименование переходной. Литологический ее состав более пестрый, чем двух нижележащих. На западе она представлена обычно глинами с подчиненными горизонтами песчаников, а вверху главным образом песчаниками, песками и гравелитами. В центральной части района, где развиты упомянутые выше антиклинальные складки, основную роль играют глины, но восточнее все большее развитие получают грубообломочные породы, переходящие далее целиком в плохо сортированные конгломераты.

В нескольких пунктах в глинах переходной свиты обнаружено карнотитовое оруденение.

Мощность свиты колеблется от 150 до 500 — 600 *м*.

Покровная свита. Самая верхняя свита неогенового разреза (частично, может быть, принадлежащая уже четвертичным образованиям), названная нами покровной, повсеместно согласно залегает на переходной и только в западных районах иногда отделена от нее размывом, срезающим верхнюю часть переходной свиты.

В покровной свите везде, где она развита, содержатся породы, отсутствующие во всей нижележащей толще неогена. Это песчано-глинистые лёссоподобные или лёссовидные породы, похожие на современные лёссовидные суглинки, но значительно более плотные и однообразные. Подобными осадками почти целиком представлена покровная свита в антиклиналях центральной части области, тогда как на западе большое значение имеют и песчаные породы, а на востоке — конгломераты, нередко плохо сортированные. Повсеместно последние развиты в верхах свиты.

В двух пунктах в породах покровной свиты констатировано карнотитовое оруденение.

Изредка попадаются остракоды и остатки водорослей.

Мощность свиты весьма изменчива благодаря срезанию ее вышележащими четвертичными конгломератами; нередко она достигает 700 *м*.

Упомянутые конгломераты, получившие у нас название шлейфовых (чтобы подчеркнуть условия их формирования у подножья подымавшихся палеозойских хребтов), достигают значительной мощности (до 800—1000 *м*) и особенно развиты в восточной части северной предгорной зоны, характеризовавшейся и в более ранние эпохи накоплением грубообломочного материала. Эти конгломераты часто принимались предыдущими исследователями за фациально измененные аналоги разных горизонтов неогена, тогда как в действительности они залегают на них с резким размывом (и, вероятно, и с несогласием), в отдельных случаях срезая все его свиты.

Геологический возраст всех описанных свит, принадлежность их к тому или иному горизонту неогена, согласно общепринятой схеме его деления, является пока неустановленным. Этого не позволяет сделать малое количество органических остатков, содержащихся в неогеновых породах, и отсутствие среди них руководящих форм. Тем не менее предлагаемая нами стратиграфическая схема, не выходящая, конечно, за рамки районного подразделения, позволяет проводить необходимые сопоставления в пределах довольно обширной территории, давая возможность геологам говорить на одном «стратиграфическом языке».

Условия формирования осадков

Возникновение впадины на месте описанной нами долины относится к очень давней эпохе, вероятно к середине мезозойской эры; уже в юре здесь наметились крупные участки прогибания, служившие областями аккумуляции осадков. Более четкое геоморфологическое выражение впадина получила значительно позднее, в верх-

мелового и палеогенового время, когда она была залита мелководными морями, обрамленными невысоко приподнятыми, сильно пенепленизированными участками суши, отвечающими нынешним хребтам; частично эта суша, особенно по южной окраине впадины, перекрывалась в некоторые моменты морем.

Вполне четко впадина оформилась в самом конце палеогеновой эпохи, когда, в результате несколько усилившихся тектонических движений, море было вытеснено из пределов впадины и его место здесь заняло обширное озеро, в которое в значительных количествах стал сноситься обломочный материал с суши, продолжавшей медленно и постепенно подниматься.

Водное происхождение неогеновых отложений вполне определенно устанавливается рядом фактов.

Прежде всего надо указать на нахождение во многих районах почти во всех свитах пресноводной фауны — остракод, пелециод, гастропод. Наоборот, остатки наземной фауны встречаются здесь гораздо реже, и присутствие их легко может быть объяснено приносом потоками с окружавшей суши. Этим же путем, несомненно, попадали в озеро древесные стволы; их во много раз больше, чем костей млекопитающих, что вполне понятно, так как дерево держится на воде легче и дольше, чем трупы животных. Многочисленность стволов при крайней редкости листьев (нам известна всего одна находка) говорит об их раздельном захоронении, что возможно благодаря длительности транспортировки деревьев от места их произрастания, а эта длительность может быть скорее всего обусловлена только пребыванием в воде. В то же время здесь часто встречается детрит камыша и осоки, т. е. водных растений, типичных для мелководных озер.

Тип косой слоистости, чаще всего наблюдающийся в песчаниках, является характерным для подводных дельтовых потоков. Этот тип слоистости характерен тем, что внизу тонкозернистые фракции залегают почти горизонтально, выше сменяются косонаклоненными, обычно весьма разнозернистыми пачками, над которыми залегают более или менее горизонтальные пачки, состоящие из крайне разнородного материала, с многочисленными линзообразными включениями. С другой стороны, в глинистых осадках, нередко достигающих большой мощности, наблюдается очень правильная, тонкая, горизонтальная слоистость, свидетельствующая об отложении в условиях спокойной водной среды.

Об этом же говорит характерное для тонкослоистой свиты чрезвычайно правильное многократное чередование пород различного состава; близкое явление, лишь с большей мощностью прослоев, наблюдается и в толстослоистой свите.

Глины в песчаниках типа «рудоносных» образуют единичные включения, или линзовидные прослои, или целые пласты глиняного конгломерата (по составу глины во включениях очень близки к глинам данной свиты), что свидетельствует об отложении на подводной равнине (по терминологии Л. В. Пустовалова). Они возникают

при наличии течений в мелководном бассейне за счет размыва окружающих отложений, или, как говорит Л. В. Пустовалов, «подводных берегов».

Наличие довольно многочисленных прослоев известняков в тонкослоистой свите на западе также является доказательством ее водного происхождения (притом, вероятно, в условиях достаточно открытого бассейна). Выше указывалось, что разрезы этой свиты чрезвычайно сходны по всей исследованной полосе, что свидетельствует об общности условий седиментации на широкой территории.

Никто не сомневается в образовании пород соленосной и гипсоносной свит в крупной лагуне. Огромная мощность этих осадков и наличие многочисленных мощных пластов соли и гипса говорит об интенсивности процессов выпаривания. Пополнение же убыли воды за счет притока с близлежащей суши вряд ли могло иметь место, так как эти участки были невысоко приподняты и размывались сравнительно слабо (судя по общей мелкозернистости обломочных пород в гипсоносной и соленосной свитах). Воды в лагуну, очевидно, поступали откуда-то извне, что подтверждает существование к востоку от лагуны обширного озера.

Можно было бы привести еще ряд аргументов (карбонатный цемент в огромном большинстве песчаников, карбонатность многих глин, большое минералогическое однообразие песчаных пород и т. д.), но мы ограничимся указанными.

Остается сказать несколько слов о величине неогенового бассейна. Наиболее важным в этом отношении является общая большая выдержанность литологического состава выделенных свит, в некоторых случаях прямо удивительная для континентальных отложений. Отдельные пласты иногда удается непрерывно проследить на десятки километров, как, например, основной «рудоносный» горизонт толстослоистой свиты, развитый на всем протяжении одной из антиклиналей (до 40 *км* длины) и на северном и южном ее крыльях. Объяснить подобные явления можно только признав, что накопление осадков происходило в едином крупном бассейне.

Вместе с тем, помимо общих изменений состава пород, происходящих медленно и закономерно (например, увеличение роли грубообломочного материала к востоку), наблюдаются многочисленные мелкие, очень резкие и быстрые изменения, с выклиниваниями тех или иных горизонтов, быстрыми переходами по простиранию одних пород в другие, увеличениями и уменьшениями мощностей и т. д. Изменения эти чрезвычайно характерны для неогеновой толщи. Чтобы понять их, мы кратко рассмотрим историю развития описываемой впадины в неогеновую эпоху. Это будет также важно и при разборе вопроса о генезисе уранового оруденения и условиях концентрации урановых минералов в осадочных породах неогена.

Характерной особенностью второй половины мезозойского и всего палеогенового времени было резкое различие направленности движений в самой впадине и окружающих ее структурах. Первая область испытывала общие прогибания, не нарушавшиеся подняти-

ями, являвшимися обычно эпизодическими и достаточно строго локальными. Литологическим выражением этих движений является мощная (1500—2000 *м*, а может быть и больше) серия континентальных и мелководных морских осадков мезозоя и палеогена впадины.

Наоборот, обрамления последней в течение того же отрезка времени испытывали общие поднятия и служили областью сноса материала, накапливавшегося в данном бассейне; опускания, имевшие здесь место, носили частный характер и не нарушали общих тенденций. Благодаря медленности и постепенности этих поднятий, денудация препятствовала созданию сколько-нибудь высокогорного рельефа, а в некоторые эпохи (например в палеогеновую) суша оказывалась весьма сильно пенепленизированной.

В неогеновое время эти различия стали несколько более резкими, поскольку усилились и прогибания впадины и поднятия ее обрамлений. Было бы, однако, совершенно неверным предполагать, что уже в эту эпоху произошло формирование высоких гор, ныне окружающих впадину. Анализ состава неогеновой толщи достаточно убедительно показывает, что граничившие с озером участки суши были приподняты не очень высоко, денудация почти успевала выравнивать неровности рельефа, поставляя в бассейн в общем мелкообломочный, а иногда и тонкоотмученный (глинистый) материал. В некоторых случаях удается установить, что снос его происходил из отдаленных областей, и почти для всех районов для всех свит нельзя указать на заведомую северную береговую линию — она отстояла, повидимому, в нескольких десятках километров севернее современных южных склонов хребтов.

В начале неогеновой эпохи западная окраина бассейна представляла собой засоленную лагуну, занимавшую большую площадь. Те выходы образовавшихся здесь осадков, которые мы сейчас знаем в грядах на западе, принадлежат, без сомнения, к районам, значительно удаленным от берега. Именно эта часть бассейна прогибалась интенсивнее всех остальных.

Если в эпоху образования пород кирпично-красной свиты для всей остальной территории озера мы пока не можем наметить участков, резко различных по литологическому составу развитых в них осадков, то уже в эпоху отложения глинисто-песчаниковой свиты вполне определенно вырисовывается северо-восточная часть бассейна, как область аккумуляции наиболее грубообломочных пород. Зависит это, очевидно, от большей приподнятости и большей интенсивности поднятий области сочленения хребтов, расположенной у наиболее северной части бассейна, что сохраняется на всем дальнейшем протяжении неогеновой эпохи.

Во время образования осадков тонко- и толстослоистой свит в бассейне создается максимальное (за весь неоген) выравнивание физико-географической обстановки. Лагуна на западе исчезает, но некоторое время здесь еще наблюдаются наибольшие прогибания, берег значительно удален (известняки в тонкослоистой свите).

Позднее стираются и эти отличия, повсеместно идет осаждение довольно однообразных песчаных и глинистых илов (за исключением востока, где попрежнему накапливается много конгломератов), сносящихся с относительно удаленной и все еще невысокой суши. Это говорит о том, что поднятия продолжали образовываться медленно и постепенно.

В последующее время (эпохи образования переходной и покровной свит) поднятия усиливаются, в бассейне намечается сначала три, а потом и большее число участков, характеризующихся различным типом разреза. Тем не менее мощные толщи глин и песчано-глинистых лёссовидных пород (образовавшихся также в водной среде), развитых на обширных площадях, и сравнительно небольшая роль грубообломочных осадков, распространенных далеко не повсеместно (за исключением востока), с очевидностью говорят о том, что и в это время поднятия имели относительно спокойный характер. Резкое возрастание их интенсивности приходится на самый конец эпохи образования покровной свиты, а в основном падает на четвертичное время, когда у подножья быстро поднимавшихся гор началось накопление мощных толщ шлейфовых конгломератов.

Таковы общие этапы истории развития описываемой впадины в неогеновую эпоху. На фоне описанных движений, захватывавших большие территории и отличавшихся устойчивостью в течение геологических периодов, существовали движения гораздо меньшего масштаба, многократно проявлявшиеся в самых разных районах. Благодаря мелководности бассейна и его замкнутости, эти движения, даже незначительные из них, быстро и очень отчетливо влияли на процесс седиментации. Небольшие поднятия приводили к накоплению линз конгломератов, тупо выклинивающихся в пачке значительно более мелкозернистых пород. Такие же опускания вызывали образование однородных глин, осаждавшихся в небольших заводях. Именно незакономерным чередованием подобного рода движений и объясняется упоминавшаяся раньше пестрота и изменчивость литологического состава неогеновых отложений. Надо еще подчеркнуть, что эти движения были чрезвычайно диференцированными и нередко сказывались только на самых ограниченных площадях, подчас измеряющихся немногими квадратными километрами.

Подобный процесс развития земной коры является обычным, но, если мы имеем дело с морскими толщами, незначительные колебания дна моря и его берегов обычно остаются незамеченными, тогда как на характере осадконакопления в мелководном озере они сказываются весьма резко. Это то и является причиной якобы удивительного, но в действительности часто наблюдающегося факта большой выдержанности по простиранию континентальных свит при быстрой изменчивости отдельных составляющих их пластов. Это можно сформулировать так: при резких частных фациальных изменениях состав континентальных формаций, образовавшихся в

водной среде, обычно достаточно выдержан. К сожалению, при работах на маленьких изолированных площадях эти частные изменения иногда принимают в качестве основной характеристики данной толщи или свиты, вследствие чего и ее генезис получает превратное толкование, при котором озерные осадки, распространенные на обширной территории, принимаются за накопления разобщенных конусов выноса.

Оруденение

В настоящее время известно уже довольно много пунктов проявления карнотитового оруденения в неогеновых отложениях северной части описываемого региона. На первый взгляд может создаться впечатление, что оно приурочено к самым разнообразным породам (различным песчаникам, пудингам, глинам, мергелям) и к четырем верхним свитам (в кирпично-красной и глинисто-песчаниковой свитах, так же как и в их фациальных аналогах — соленосной и гипсоносной свитах, никаких признаков рудопроявления не обнаружено). Если бы это было так, целеустремленность дальнейших поисков была бы исключительно затруднена.

В действительности, однако, если произвести самую общую классификацию типов оруденения, оказывается, что существует достаточно строгая закономерность приуроченности одного из типов, имеющего промышленный интерес, к породам определенного литологического состава и к определенным свитам.

Оруденение в неогеновых осадках наблюдается двух типов. Один из них характеризуется тем, что карнотит образует тончайшие пленки или налеты по трещинам отдельностей и напластования, выполняет поры и мельчайшие пустотки в породе, иногда дает по трещинам маленькие розетки, наподобие гипсовых; реже карнотит осаждается по границе пород резко различного литологического состава. Оруденение этого типа связано непосредственно с самой поверхностью породы, нисколько не пропитывая ее, не участвуя в строении ее цемента (в очень редких случаях слабая пропитка маленькими разобщенными пятнами наблюдается в тонком приповерхностном слое). Очевидно, оно обязано своим возникновением весьма недавним процессам переноса грунтовыми или поверхностными водами ураносодержащих растворов и осаждению из них урана в благоприятных для этого условиях, которыми могут являться особенности механического и химического состава породы, солевого состава вод, рельефа и т. д. Это, вне всякого сомнения, эпигенетическое оруденение не является интересным в промышленном отношении, будучи крайне убогим по содержанию металла и обычно весьма мало выдержанным.

Поскольку оно возникло благодаря поверхностной циркуляции вод, мы предлагаем называть его фильтрационным.[1]

[1] Такие образования обычно носят название инфильтрационных.

Оруденение этого типа наблюдается (и должно наблюдаться) в породах самого различного литологического состава и заключено главным образом в осадках переходной и покровной свит.

В противоположность описанному, оруденение другого типа (пятнистые, вкрапленные и полосчатые руды) характеризуется пропитыванием породы карнотитом, являющимся здесь одной из составных частей цемента. По каким бы направлениям ни был разбит образец с таким оруденением, везде виден карнотит. Эта пропитка происходит неравномерно, в отдельных участках или линзах небольших размеров (от 1—2 до 10—15 *м*), то более сближенных, то разобщенных значительными пустыми промежутками. В пределах каждого обогащенного участка оруденение распределяется также неравномерно — пятнами, включениями, гнездами, тонкими полосками, между которыми располагаются более обедненные или даже почти неминерализованные участки. Пропитка породы карнотитом не уменьшается с глубиной (по крайней мере до 20—25 *м*) и не зависит от близости к борту долины или оврага, как это в последнее время установлено выработками.

Так как рудные тела этого типа оруденения имеют обычно неправильную форму, иногда приближающуюся к линзообразной, но в общем виде скорее всего сходную с крупными конкрециями, мы предлагаем называть этот тип конкреционным, подчеркивая этим одновременно некоторое сходство его генезиса, при неравномерности пропитки карнотитом породы, с образованием конкреционных стяжений.

Оруденение этого типа является практически интересным, так как дает промышленные концентрации.

Распространено оно исключительно (кроме одного случая) в осадках тонко- и толстослоистой свит и приурочено в огромном большинстве случаев к песчаникам типа «рудоносных». В этих же песчаниках кое-где наблюдается повышенная активность без видимого оруденения. Единственная находка карнотита (отдельной чешуйкой) вне указанных свит (в покровной) также сделана в этих песчаниках. Выше мы отмечали, что иногда песчаники типа «рудоносных» являются и омедненными.

Мы напомним некоторые характерные особенности этих песчаников. По составу они полимиктовые, с значительным преобладанием кварцевых зерен, с карбонатным цементом, разнозернистые— от мелко- до грубозернистых; нередки включения гравия и мелкой галечки кварца, кремня и других палеозойских пород, то отдельно разбросанных, то образующих неправильные, или линзовидные, или волнисто изгибающиеся прослои. Характерны включения красных или серых глин (по составу близких с глинами данной свиты), нередко образующих линзовые прослои глиняного конгломерата; крупные включения часто в одной своей части залегают, несомненно, in situ, а в другой несут следы перемывания. Слоистость песчаников обычно отчетливо косая, с чередованием более или менее горизонтальных и косо наклоненных пачек с различной крупностью

зерна. Цвет песчаников чаще всего серый, голубовато-серый, иногда ясно зеленоватый; очень часто порода интенсивно, крупными участками ожелезнена. Весьма обычны растительные остатки, преимущественно в виде сучьев и крупных обломков стволов (до 5 *м* длины), но много также детрита камыша и осоки; реже попадается пресноводная фауна, еще реже — обломки костей млекопитающих. Мощность этих песчаников иногда достигает 20 *м*.

В редких случаях оруденение конкреционного типа наблюдается в песчаниках иного состава — более мелкозернистых, однородных, без включений глин, неслоистых, без видимых органических остатков. Мощность этих песчаников не превышает 1 *м*, а оруденение, хотя иногда и является хорошо выдержанным по простиранию, но (в известных пока пунктах) мощность оруденелой прослойки измеряется немногими сантиметрами, а содержание руды невелико.

Такая строгая приуроченность проявлений конкреционного оруденения к очень немногим определенным типам пород (к одному-двум, а практически всего к одному—«рудоносным» песчаникам, ибо медистые песчаники являются их подтипом, а в других разностях песчаников карнотит наблюдается очень редко), сосредоточенным почти исключительно в тонко- и толстослоистой свитах, не может, конечно, рассматриваться как случайность и служит лучшим доказательством сингенетичности оруденения.

Если бы оруденение было эпигенетическим, то оно распределялось бы по самым различным породам и свитам, как это действительно и имеет место в случае оруденения фильтрационного типа, обязанного своим возникновением заведомо вторичным, притом недавним процессам.

Если предположить, что оруденение, хотя бы и в ничтожной степени концентрации, первоначально образовалось в различных породах и только позднее, под влияним тех или иных причин (диагенез, циркуляция вод, выветривание), возникли более богатые скопления, то останется весьма мало понятной приуроченность его к немногим определенным литологическим типам пород и совершенно необъяснимым нахождение оруденения в одном и том же стратиграфическом горизонте на двух крыльях одной антиклинали.

Поскольку в разрезе неогена имеется большое количество пород, сходных и по всем своим свойствам и по условиям залегания с породами, которые заключают оруденение, несомненно, что в случае первичного накопления урано-ванадатов в различных осадках с последующей миграцией в соседние пласты эта миграция происходила бы по разным направлениям, захватывая породы и разного литологического состава и самых различных горизонтов.

Если бы, наконец, миграция имела место только в пределах того пласта, где образовались первичные концентрации урано-ванадатов, то в этих же пластах, очевидно, наблюдались бы и повышенные их скопления. Однако сторонники теории первичного рассеянного накопления урановых минералов в осадках предполагают, что оно происходило в разных породах.

Нам представляется, что понять эту строгую зависимость наличия рудопроявлений от состава вмещающих их осадков, при географической выдержанности этих соотношений, можно только в том случае, если признать одновременным накопление вещества осадка и рудных минералов, т. е. если считать оруденение сингенетичным.

Следовательно, если учесть приуроченность оруденения к определенным литологическим типам пород, необходимо сделать вывод, что физико-географическая обстановка во время образования этих пород являлась благоприятной для осаждения урановых минералов.

Имеющийся фактический материал позволяет, хотя и далеко не полностью, осветить некоторые важные особенности этой обстановки.

Выше указывалось, что во время образования пород тонко- и толстослоистой свит, в частности в периоды накопления песчаных илов, давших начало песчаникам типа «рудоносных», описываемая впадина была занята обширным мелководным пресным озером. Ряд фактов показывает, что эти песчаники образовались в условиях подвижной водной среды, очевидно при наличии течений. Эти факты мы уже описывали, и поэтому сейчас подробно рассматривать их не будем.

Тип косой слоистости в песчаниках является характерным для осадков дельт, несущих следы подводных течений. Прекрасным свидетельством в пользу последних служат включения окатышей глин, нередко образующих линзовидные прослои глиняных конгломератов, возникающих при разрушении течением своих подводных берегов; особенно интересны здесь крупные включения, частью залегающие, несомненно, in situ и частично несущие явные следы перемывания.

О развитии течений говорит состав и соотношение между собой органических остатков. По частоте нахождения они распределяются следующим образом: древесные обломки — сучья и стволы (притом очень крупные, до 5 *м*), растительный детрит (камыша, осоки), пресноводные гастроподы, пелециподы и остракоды, обломки костей млекопитающих; найдены зуб мамонта и лист *Phragmites oeningensis*. Растительные остатки резко преобладают.

Эти соотношения кажутся странными только на первый взгляд и легко объясняются течениями. Будучи в общем медленными и спокойными (судя по характеру зернистости песчаников и глинистым включениям), но повсеместными (широкое развитие песчаников), эти течения разносили по всему бассейну деревья, попадавшие в него с окружающей суши. Погребались они далеко от берега, причем за время длительной транспортировки с них опадали листья, частично срывавшиеся потоками, сносившими деревья в озеро. Эти же потоки поставляли сюда остатки животных, которые тонули, конечно, гораздо быстрее, если даже переносились целые трупы или их части.

Камыш и осока (частью также принесенные течениями, но

частью погребавшиеся на месте своего произрастания) говорят о наличии островов и о большой мелководности озера, часто не превышавшей 2—3—4 *м*, так как максимальную высоту камыша (считая, что его корневища находились в воде) вряд ли можно принять большей 5—7 *м*.

Значительная мощность песчаников и общая выдержанность содержащих их свит свидетельствуют о длительности процессов, приводивших к накоплению этих осадков, и об их региональной выдержанности. Отдельные пласты, естественно, иногда прослеживаются на большие, а иногда только на очень короткие расстояния.

Таким образом, физико-географическая обстановка времени накопления песчаных илов, давших начало песчаникам типа «рудоносных», характеризовалась широким развитием медленных течений в очень мелком плоскодонном озере, изобиловавшем плоскими песчаными островами и отмелями, которые (а также и неглубокие участки дна) густо зарастали камышом. Северный берег озера был, повидимому, удален значительно дальше современного палеозойского северного обрамления долины.

Прежде чем рассмотреть вопрос о том, какие же из особенностей этой физико-географической обстановки способствовали осаждению урано-ванадатов, вернемся к предшествовавшей истории.

Длительный континентальный перерыв, наступивший после герцинской складчатости, привел к пенепленизации рельефа. Это и усилившиеся прогибания впадины привели к тому что, начиная с юрского времени, осадки каждой следующей системы трансгрессивно перекрывали более древние слои, переходя и на палеозойский фундамент и погребая его все более мощным чехлом в зоне, которая ныне является приподнятой и ширина которой местами достигает 40—50 *км* и больше.

Когда в самом конце палеогеновой — начале неогеновой эпох, на территории, обрамляющей впадину, усилились поднятия, размыву в первую очередь подвергся мезозойско-палеогеновый покров. Возможно, что отчасти именно из-за этого в составе кирпично-красной и глинисто-песчаниковой свит так много красноцветных пород, поскольку ими почти нацело сложены в северных предгорьях меловые и в значительной степени и палеогеновые толщи.

Нам кажется, что отсутствие в осадках двух указанных свит всяких следов уранового рудопроявления зависит в одинаковой степени и от того, что в бассейне этого времени не создавалось благоприятной физико-географической обстановки для осаждения урано-ванадатов, и от того, что размывались главным образом толщи, лишенные значительных концентраций урана. Конечно, в палеогене могли находиться месторождения, аналогичные известным в настоящее время, но можно не сомневаться в том, что не за счет разрушения отдельных месторождений (даже самых крупных магматогенных) происходит образование урано-ванадатов в осадочных породах. Слишком малы количества металла в этих месторождениях по сравнению с массой разрушаемой и переноси-

мой породы и слишком незначительна площадь аккумуляции осадков, на которую может влиять размывающееся месторождение. Источником урана в осадочных породах, очевидно, являются гидротермальные зоны с несколько повышенным содержанием урановых минералов, находящихся здесь, вероятно, в весьма рассеянном состоянии. Поскольку во время отложения пород кирпично-красной и глинисто-песчаниковой свит палеозойские толщи только начали размываться, очевидно, что в бассейн не поступало (или поступало очень мало) урансодержащих растворов, образующихся при разрушении указанных гидротермальных зон (наметить их сейчас по северному обрамлению впадины мы можем достаточно определенно).

Позднее, в эпоху формирования тонко- и толстослоистой свит, эрозионный срез достиг более глубокого уровня, в бассейн в значительной степени начали поступать урансодержащие растворы, одновременно в нем создалась физико-географическая обстановка, благоприятная для осаждения урано-ванадатов. Фациальным выражением этой обстановки являются прежде всего песчаники типа «рудоносных», к которым приурочено наибольшее количество карнотитового рудопроявления. Широкое распространение песчаников, на фоне общей выдержанности заключающих их свит, с несомненностью показывает, что благоприятные для уранонакопления условия существовали на обширных площадях и что, следовательно, частое нахождение здесь признаков оруденения конкреционного типа является вполне закономерным.

Высказываемые ниже соображения о том, какие же именно особенности этих благоприятных условий способствовали осаждению урано-ванадатов, не могут еще рассматриваться как бесспорные, но в свете всего имеющегося фактического материала и по согласованности со всеми данными геологической истории района и некоторыми важнейшими геохимическими данными эти соображения представляются наиболее убедительными.

Исключительно велика была роль течений, которые разносили урансодержащие растворы по бассейну, попадавшие туда с потоками, стекавшими с окружающей суши. Повидимому, нередко течения возникали под влиянием этих потоков и как бы продолжали их в озере, препятствуя тем самым быстрому разбавлению растворов, которые, конечно, с самого начала своего существования отличались крайне малой концентрацией. Еще Ф. Л. Хесс и Р. П. Фишер считали, что уран переносился в виде растворов, а в последнее время В. Г. Мелков своими работами показал, что уран мог попадать в бассейны только в виде растворов.

Значение течений, однако, не ограничивалось тем, что они разносили эти растворы по озеру, предохраняя их от «разубоживания», не менее важно (на чем мы остановимся дальше), что они приводили их в соприкосновение с донными илами.

Очень существенна роль органического вещества, безразлично животного или растительного происхождения. Здесь, повидимому,

важна степень покрытия разлагающимся органическим веществом бо́льших или меньших участков для бассейна. В неогеновом озере это были нагромождения погибшего камыша и затонувшие деревья, в палеогеновом море — устричные банки.[1]

Гниение этих органических остатков и создавало (или усиливало) ту восстановительную среду, в которой, по данным геохимиков, только и возможен переход урана из шестивалентной (растворимой) формы в четырехвалентную (нерастворимую) и выпадение его в осадок. Однако, исходя из строения песчаников типа «рудоносных» (подробно рассмотренного выше), можно категорически утверждать, что вода мелкого неогенового озера, перемешиваемая течениями, была насыщена кислородом и не могла быть заражена сероводородом. То же относится и к палеогеновому морю с его развитием донных форм — устриц в оруденелом слое, которые не могут жить в сероводородной среде. Прибавим еще, что общий мелководный и плоскодонный характер палеогенового и неогенового бассейнов отнюдь не мог способствовать возникновению в них участков, зараженных сероводородом, приуроченных обычно к глубоким зонам с застойной водой, плохо сообщающимся с остальными частями бассейна.

Очевидно, восстановительные условия создавались в самом накапливающемся илу, подобно тому, как, например, сейчас на оз. Балхаш, где (по устному сообщенчю Д. Г. Сапожникова) слой воды насыщен кислородом, а в донном илу, всего в нескольких сантиметрах от его поверхности, развивается сероводородное заражение.

Следовательно, наиболее благоприятными для осаждения урановых минералов должны были являться мелководные участки, в которых накапливались песчаные илы (в палеогеновом море — известковые илы).

Течения, разносившие по неогеновому бассейну урансодержащие растворы, предохраняя их от быстрого разбавления, благодаря турбулентному движению воды, многократно приводили их в непосредственное соприкосновение с зараженным сероводородом донным илом. Те части раствора, которые проникали несколько глубже в этот насыщенный водой осадок, отдавали в него и заключенный в них уран. Активное привнесение увлекаемых течением на дно бассейна урансодержащих растворов и постоянное, достаточно длительное действие этих процессов приводили как бы к их наложению и к выпадению в осадок значительных количеств урана.

Наоборот, в тех более глубоких и спокойных участках озера, где течения не проникали до дна или даже вовсе отсутствовали, и в те эпохи, когда они были развиты мало, происходило накопление глинистых илов, с которыми урансодержащие растворы всту-

[1] В редких случаях оруденение, как указывалось, известно в породах, лишенных органических остатков. Возможно, однако, что они здесь просто не уцелели или же были представлены микроорганизмами (водоросли). Случаи эти являются не характерными.

пали во взаимодействие лишь изредка. Помимо того, что в эти районы и урана попадало, вероятно, меньше (вследствие слабого распространения течений), он дольше оставался в растворенном виде, выпадая в продолжение более длительных эпох, на больших площадях и более равномерно, но в ничтожных количествах.

Нам кажется, что именно этими причинами можно объяснить неоднократно отмечавшееся для неогеновых и палеогеновых осадков описываемого региона явление несколько повышенного содержания урана в глинах, наблюдающееся на значительных площадях. Нигде, однако, в глинах неизвестны его концентрации, хотя бы отдаленно приближающиеся к промышленным. Песчаники же, обладающие в массе менее высокой активностью, содержат промышленные скопления. Дело здесь, вероятно, именно в своего рода сосредоточенности (в песчаниках) и рассеянии (в глинах) процессов выпадения урановых минералов из раствора, обусловленных указанными выше различиями физико-географической обстановки.

Наличие карбонатного вещества в цементе песчаников (и почти чистого известкового ила в карнотитсодержащих горизонтах палеогена), говорящее о щелочности среды, повидимому, способствовало осаждению урановых минералов. Несравненно большее значение карбонат имел впоследствии, когда слои были выведены в зону окисления, где сульфиды различных металлов давали серную кислоту, а взаимодействие получавшихся сульфатов ванадия, железа и урана с карбонатом кальция приводило к образованию ныне наблюдающихся в месторождениях минералогических форм урана (карнотит, тюямунит и шрекингерит).

Геохимическая роль меди, минералы которой иногда встречаются непосредственно вместе с урановыми, совершенно неясна. Возможно, что выпадение этих двух металлов не находится в причинной зависимости, а происходит совместно при одинаковых физико-географических условиях.

Удаленность участков суши, с которых выносились в бассейн уран и ванадий, от мест их осаждения, может, повидимому, достигать 150 и более километров. В описываемом нами регионе эти расстояния измеряются, очевидно, первыми десятками километров.

Поскольку процесс осаждения урано-ванадатов происходил в воде, наличие в эти эпохи аридного (сухого и жаркого) климата не кажется нам обязательным. Более велико значение аридности климата в последующие эпохи, во время денудации урансодержащих пластов, когда благодаря слабому развитию грунтовых и поверхностных вод лучше сохранялись скопления урановых минералов.

Соленосность воды, очевидно, сама по себе не играла роли (карнотитовые руды имеются и в нормально морских палеогеновых осадках и в пресноводных неогеновых), но разница в степени солености бассейна и впадавших в него потоков с урансодержащими растворами могла иметь существенное значение для замедления разбавления последних. Возможно, что именно подобным образом

обстояло дело в палеогеновом морском бассейне, где течения, очевидно, были развиты меньше, чем в неогеновом озере.

Не трудно видеть, что важнейшие из рассмотренных выше особенностей, приводящие в своей совокупности в конечном итоге к осаждению урано-ванадатов, могут иметь место (во всяком случае в региональном, т. е. практически интересном, а не минералогическом значении) лишь при достаточно длительном развитии определенных крупных тектонических структур. Только в этом случае возникают обширные плоскодонные депрессии, залитые мелководными бассейнами, богато заселенными донными организмами или (в случае пресных озер) обильно заросшими растительностью; мелководье способствует распространению течения. Суша, окружающая бассейны, должна отвечать длительно подымавшимся структурам, испытавшим определенный этап вулканического развития и денудации, при которой и слишком поверхностный и слишком глубокий срез окажутся неблагоприятными факторами.

Все эти физико-географические условия скорее всего могут осуществиться в замкнутых или полузамкнутых достаточно крупных бассейнах, а не в мелких изолированных водоемах или, наоборот, открытых обширных морях. Для последних, очевидно, наиболее интересными являются их краевые зоны, особенно если они полуотделены от остального бассейна.

Предположение о значении замкнутости бассейна для осаждения урано-ванадатов не может еще считаться твердо установленным, но оно вытекает не только из данных об истории развития описываемой впадины в неогеновую и палеогеновую эпохи, а подтверждается и примерами из совершенно других регионов, для самых различных отрезков времени.

Прежде всего мы имеем здесь в виду карнотитоносную провинцию штатов Юта и Колорадо в США. Мы не будем ее описывать, а лишь укажем, что сходство ее с изучавшимся неогеновым бассейном простирается вплоть до деталей. Это касается не только литологического состава пород, их цвета, типа косой слоистости, наличия и характера органических остатков, фациальных взаимоотношений, типов и морфологии руд, их приуроченности к породам определенного литологического состава (видимо, очень похожим на северные «рудоносные» песчаники) и определенности их стратиграфического положения, не только общего сходства с нашими высказываниями о физико-географической обстановке в бассейне и условиях попадания в него урансодержащих растворов (из чего вытекает и некоторая близость взглядов на генезис урано-ванадатов), но касается даже наличия включений глин в рудоносных песчаниках. Описание их, данное Р. Коффиным (который считает их характерной особенностью карнотитоносных песчаников), может быть без всяких изменений перенесено на включения глин в «рудоносных» песчаниках северной части нашего региона.

Таким образом, аналогия между юрским бассейном Юта и Колорадо и неогеновым описываемого региона получается чрезвы-

чайно полная. И хотя структурное положение этих двух регионов является различным, но самый ход развития в мезозое плато Колорадо, окруженного складчатыми системами другого возраста, оказывается похожим на развитие в мезо-кайнозое нашей впадины и ее обрамлений.

Второй пример не так эффектен, возможно в силу его малой изученности. Речь идет о карнотите в красноцветных меловых отложениях другого геологического региона, содержащих древесные остатки и кости динозавров. Район этот в меловое время представлял собой впадину, довольно далеко вдававшуюся в сушу, сложенную палеозойскими образованиями.

Взятые в целом все эти примеры не могут рассматриваться как случайные совпадения, убеждая в правильности предположения, что наиболее благоприятными для концентраций урано-ванадатов в осадочных породах являются обширные замкнутые или полузамкнутые мелководные бассейны, отвечающие крупным синклинальным участкам, окруженным приподнятыми складчатыми структурами, в которых развиты отложения другого возраста.

Минералогическая форма первоначально выпадающих из растворов урановых соединений была, по мнению многих исследователей, отличной от современной. В более глубоких зонах одного месторождения в палеогеновых известняках были обнаружены реликты первичных руд, содержащих сульфид ванадия и урановые черни. Преобразование урановых соединений в карнотит и тюямунит происходит в приповерхностной зоне, под влиянием действия грунтовых и поверхностных вод. Оно сопровождается некоторым перемещением урановых минералов в пределах данного пласта, вероятно, однако, не очень значительным, поскольку рассматриваемый район беден подземными водами и, надо думать, был ими беден и в ближайшем прошлом, поскольку климат оставался в общем неизменным — сухим и жарким.

Подтверждением этого является отсутствие связи между скоплениями урановых руд и геоморфологией района. Эти скопления едва ли не в большинстве случаев приурочены не к широким понижениям, бортам долин, котловинам и т. д.[1], а к склонам, нередко крутым, моноклинально наклоненных слоев, иногда к крутым уступам этих склонов, к небольшим водораздельным гребешкам; на одном из месторождений они вскрыты шурфами на глубине около 20 *м*, в 125—150 *м* от борта ближайшего сая.

Прихотливость формы рудных тел и капризный характер распределения их в пласте могут быть лучше объяснены своеобразием

---

[1] Эта гипотеза, пришедшая к нам из США, где она носит название бортовой (rim rock) теории, основывалась там на якобы отчетливой приуроченности урановых руд к склонам долин. В действительности же американцы судили по выработкам, в среднем не превышавшим расстояний в 30 — 40 *м* от борта каньона и имевшим небольшую глубину (глубже итти было экономически невыгодно). В настоящее время эта теория оставлена большинством крупных геологов США, занимавшихся изучением карнотитовых руд.

условий осаждения урановых минералов (течениями, которые неравномерно, с завихрениями струй воды, прижимались ко дну), чем явлениями вторичного их переноса. Эти последние процессы, поскольку они должны были происходить в более или менее однородном пласте, под влиянием каких-то достаточно закономерных причин, казалось бы, должны были привести и к более равномерному насыщению породы рудными минералами.

Если все это так, то, следовательно, нельзя говорить и об увеличении во времени степени концентрации урановых минералов, первоначально якобы осадившихся в очень рассеянном состоянии. Этому противоречит также первичное их выпадение, как это было описано выше, неравномерное в зависимости от состава пород. Уран концентрировался в песчаных илах и отлагался в рассеянном состоянии в глинистых осадках. Напомним, что один из геологов, защищающий точку зрения увеличения со временем степени концентрации урано-ванадатов, указывает, что осаждались они преимущественно в глинистых осадках, из которых затем мигрировали в соседние пласты, но не приводит никаких тому доказательств; вряд ли они и могут быть найдены, если учесть, что вынос материала из глин в силу их физико-химических особенностей всегда чрезвычайно затруднен.

Этот же геолог считает, что процесс переотложения урано-ванадатов был четырехстадийным, причем на каждой последующей стадии происходило увеличение степени их концентрации. Подобное явление представляется мало правдоподобным, даже если исходить из общих соображений, и прямо опровергается на примере выше упоминавшегося месторождения в палеогеновых известняках с реликтами первичных руд типа урановых черней, разрушение которых ведет не к обогащению, а к разубоживанию.

Прежде чем закончить рассмотрение вопросов, связанных с генезисом оруденения, надо сказать несколько слов о его приуроченности к определенным стратиграфическим горизонтам неогена и возможности его нахождения в других горизонтах. Мы указывали, что оруденение конкреционного типа содержится почти исключительно в породах тонко- и толстослоистой свит и что благоприятным моментом здесь является однообразие физико-географической обстановки в эти эпохи. Наоборот, с нашей точки зрения фациальная пестрота всех остальных, как ниже, так и вышележащих свит, является неблагоприятным фактором, оставляющим гораздо меньше шансов на успешность поисков в них карнотитовых месторождений.

Дело здесь, конечно, не в фациальном однообразии или пестроте осадков. Сами по себе они не играют роли в осаждении урано-ванадатов. Для того чтобы этот процесс имел место, должны были существовать специфические благоприятные условия, которые, разумеется, могли создаваться в разные отрезки времени неогеновой эпохи. Однако принос урансодержащих растворов в бассейн был явлением достаточно редким, и, естественно, еще реже происходи-

ло выпадение из них урановых минералов. Следовательно, в те периоды, когда, благодаря фациальной пестроте, условия, благоприятные для осаждения урано-ванадатов, могли существовать только на небольших ограниченных площадях и лишь в короткие промежутки времени, это осаждение могло происходить неизмеримо реже, чем в эпохи однообразной физико-географической обстановки, когда подобные условия существовали длительное время и на широких площадях.

Таким образом, хотя оруденение и может находиться в других свитах, а не только в тонко- и толстослоистой, но наибольшие возможности для концентрации урано-ванадатов существовали только в эпохи образования этих последних, и именно они должны служить объектами первоочередных поисков. Из других свит несколько более благоприятными являются переходная и покровная, — во второй из них и обнаружены признаки оруденения конкреционного типа; кирпично-красную и глинисто-песчаниковую свиты можно считать весьма мало перспективными.

Если мы вспомним, что фациальное однообразие тонко- и толстослоистой свит и фациальная пестрота всех остальных являются функцией — в первом случае более равномерных по захватываемой ими площади и во втором случае более диференцированных локальных движений, то мы сможем сказать, что благоприятными для осаждения урано-ванадатов были эпохи относительно спокойных и плавных поднятий обрамления бассейна.

Источники выноса урановых соединений в неогеновое озеро ясны лишь частично. Роль северных хребтов здесь совершенно очевидна; однако, не исключено, что уран поступал и из хребтов южного обрамления, где он довольно широко известен в так называемой коловратитовой зоне, подчиненной толще нижнепалеозойских сланцев.

В заключение этого раздела мы коснемся вопроса о возможной урапоносности всех вообще осадков мезо-кайнозоя в описываемой впадине, как это рисуется в свете изложенных соображений о генезисе оруденения и вытекает из истории развития рассматриваемых структур.

Наиболее благоприятными с этих точек зрения представляются неогеновые отложения, образовавшиеся в крупном замкнутом мелководном озере, окруженном постепенно подымавшимися возвышенностями, заключавшими гидротермальные урансодержащие зоны, за счет разрушения которых и поступали в озеро урановые соединения.

В палеогеновую и отчасти верхнемеловую эпохи в бассейне неоднократно создавались условия, благоприятные для концентрации урано-ванадатов (пачки известняков, образовавшихся в мелководной среде), но общая пенепленизация страны достигала в это время максимума, так же как и площадь морского покрытия. Движения в палеозойских структурах были очень медленными, обломочного материала в бассейн попадало мало, притом преимущественно

но тонкоотмученного глинистого. Следовательно, возможности для поступления в бассейн урансодержащих растворов и выпадения из них урановых минералов в эти эпохи были более ограничены, чем в неогеновую, что уменьшает перспективность палеоген-верхнемеловых отложений.

В течение юрской и начале меловой эпохи денудация шла достаточно энергично, и размыву, несомненно, подвергались и гидротермальные зоны с повышенным содержанием урана. Однако в это время (во всяком случае в юрскую эпоху) еще не получили должного развития крупные впадины, которые представляли бы собой единый большой водоем или цепь более мелких озер. Это, а также значительная диференциация движений приводили к большой фациальной пестроте осадков, что, как указывалось, не является благоприятным показателем для осаждения урановых минералов. Таким образом, юрские и нижнемеловые отложения, так же как и палеоген-верхнемеловые (вероятно, даже в большей степени), но по прямо противоположным причинам, не являются достаточно надежными для поисков карнотитовых месторождений.

Мы хотим подчеркнуть, что высказанные предположения отражают лишь общие геологические позиции в рассматриваемом вопросе. Мы знаем относительно крупное карнотитовое месторождение и ряд пунктов с рудопроявлениями в палеогеновых известняках; есть указания на находки карнотитов в юрских осадках. Количество этих находок в будущем может быть увеличено, и некоторые из них смогут оказаться промышленными месторождениями. Необходимо, конечно, продолжать исследования всех этих толщ. Но если говорить о возможной региональной урановосности, то нам представляются наиболее перспективными только неогеновые отложения. Так, во всяком случае, следует из геологической истории их формирования и генезиса оруденения, каким он рисуется в свете известных сейчас фактов.

Работы эти должны быть поставлены в первую очередь на тех структурах, которые в течение достаточно длительного времени представляли собой крупные замкнутые или полузамкнутые впадины, занятые мелководными бассейнами, окруженные приподнятыми участками, в которых — благодаря характеру их интрузивных пород — можно предполагать наличие гидротермальных урансодержащих зон.

Методика полевых исследований

Методика исследований описанных выше континентальных карнотитоносных отложений (конечно, независимо от их возраста) не имеет каких-либо резких отличий от обычных методик геологосъемочных работ, хотя и обладает некоторыми специфическими особенностями. Мы кратко рассмотрим их по пунктам.

1. Залогом успеха подобных исследований является непрерывное и последовательное прослеживание выделенных свит (в дислоцированных областях по простиранию складчатости) на широких

площадях, отвечающих геологическим регионам или крупным структурным элементам. Стратиграфо-литологическое расчленение континентальных, практически немых, обычно очень однообразных по своему составу толщ (особенно, если они обладают большими мощностями), а также определение выдержанности в них урановосных фаций (т. е. первоначальное установление возможной перспективности района), будет успешным только после охвата исследованиями широких площадей. Проведение этих работ на ограниченных изолированных участках приводит, как мы указывали в начале статьи, к построению частных схем, которые обычно невозможно распространить на весь район развития данных отложений. Именно только последовательное и непрерывное прослеживание выделенных свит, от разреза к разрезу, позволяет выработать единую для всей изучаемой области стратиграфию и установить те фациальные особенности, без которых невозможны никакие сколько-нибудь широкие палеогеографические реконструкции. Мы считаем, что проведение исследований на обширной площади является более важным, чем детальное изучение тех или иных вопросов на меньших площадях.

2. Начальным этапом этих исследований является составление опорного основного разреза всей изучаемой толщи, производимое по возможности в одном обнажении или по ряду настолько близко расположенных обнажений, что можно пренебречь могущими иметь здесь место фациальными изменениями.

Наиболее подходящий масштаб такого разреза, по нашему мнению, должен соответствовать 1 : 1 000 по изображению на колонке. При его составлении, помимо обычных описаний состава, цвета, плотности пород и т. п., необходимо особое внимание обращать на тип слоистости, характер включений других пород, ожелезнение, изменения окраски, состав цемента песчаников и органические остатки.

Изучение разреза сопровождается массовыми промерами образцов под альфа-электроскопом и измерением активности всех слоев гамма-счетчиком, а также исследованием образцов под люминоскопом. Целью этих работ является выделение крупных стратиграфических единиц (свит), которое производится обычно по литологическим комплексам осадков и их структурным особенностям, с учетом истории развития района, и установление пород или пачек, наиболее интересных по их возможной ураноносности.

Практика показывает, что в случаях больших мощностей разреза (сотни и тысячи метров), при общем однообразии литологического состава, нецелесообразно выделение маломощных (1 — 2 *м*) слоев, мало отличающихся друг от друга (за исключением, конечно, тех случаев, когда эти слои представляют почему-либо особый интерес); лучше объединять их по принципу литологического сходства в более мощные пачки.

При большой площади исследований (15 — 20 тыс. $км^2$) одного опорного разреза будет недостаточно, и поэтому позднее в удаленных от первого участках надо составить еще несколько (3—5) раз-

резов такого же масштаба. Делается это, однако, уже после выполнения некоторого объема работ второго этапа.

3. Эти последние заключаются в протягивании выделенных свит, непрерывно от разреза к разрезу, и прослеживании пластов и пачек, которые представляют специальный интерес по их возможной ураноносности. Это непрерывное протягивание не надо понимать буквально, оно не означает, что геолог должен пешком итти от обнажения к обнажению, прослеживая все пласты; мы имеем в виду посещение всех лучше обнаженных участков, находящихся на расстоянии 2 — 3 — 5 *км* один от другого. Здесь можно обойтись только фиксированием наличия тех или иных свит и пачек, причем не надо смущаться, если вскрытой окажется не вся изучаемая толща, а только ее часть.

Приблизительно на расстоянии 10 — 20 *км* один от другого составляются разрезы, но уже менее детальные, чем опорные, в масштабе изображения по колонке 1 : 5000, которые мы называем вспомогательными. В некоторых случаях они будут охватывать всю изучаемую толщу, в других — ее часть. Цель этих разрезов — осветить подробнее свиты, наиболее интересные по их возможной ураноносности или же построенные особенно сложно, являющиеся наиболее изменчивыми. Указывая расстояния между вспомогательными разрезами, мы хотим подчеркнуть, что дали лишь примерные цифры, поскольку заранее предусмотреть это для каждого конкретного случая, конечно, невозможно.

Как составление вспомогательных разрезов, так и прослеживание свит по простиранию сопровождается промерами альфа-электроскопом образцов и измерениями гамма-счетчиком. Образцы, как и при составлении опорных разрезов, должны быть исследованы под люминоскопом.

При этом последовательном прослеживании необходимо обращать особое внимание на следующие факторы:

а) Фациальную изменчивость как отдельных пластов и пачек, так и свит в целом. Эти данные весьма важны непосредственно при установлении выдержанности перспективных пачек и для палеогеографических построений, в частности для такого существенного вопроса, как определение областей сноса обломочного материала.

б) Изменения мощностей слоев, пачек и свит.

В дислоцированных областях наблюдения по обоим этим пунктам совершенно обязательно вести как по простиранию, так и вкрест к нему, в последнем случае особенно в тех структурах, в которых на разных крыльях развиты одновозрастные свиты.

В породах и пачках, являющихся более перспективными для нахождения оруденения, должны быть также, помимо обычных их особенностей, весьма тщательно изучены:

в) Типы косой слоистости и ее изменения в разрезе и по простиранию.

г) Включения инородных пород.

д) Изменения окраски.

е) Ожелезненные участки.

ж) Органические остатки и их распределение в породе.

з) Цемент песчаников.

Мы ничего не говорим здесь об оконтуривании найденных точек рудопроявления и дальнейших, уже поисковых работах, поскольку это не относится к теме настоящей статьи. Само собой разумеется, что в случае находки оруденения при стратиграфо-литологических исследованиях оно должно быть обследовано с поверхности и вскрыто хотя бы на небольшую глубину, что важно не только для первичной оценки данной точки, но и для более целеустремленного проведения партией дальнейших работ.

4. Геоморфологическая характеристика области исследований является необходимой, особенно по установлению связи между формами рельефа и тектоническими движениями. При обнаружении оруденения очень существенно определение его геоморфологического положения (в борту долины, на моноклинальном склоне, на крутом уступе, водораздельном гребне и т. д.).

5. Изучение, хотя бы не очень детальное, гидрогеологического режима может оказаться весьма полезным при решении некоторых вопросов о путях циркуляции грунтовых вод в связи с возможной миграцией урано-ванадатов, образованием их эпигенетических скоплений (оруденение фильтрационного типа) и т. д.

6. Ознакомление с тектоническим устройством исследуемой территории, в частности с условиями залегания перспективных пачек и положением их в структуре, является также необходимым.

7. Хотя описываемые исследования обычно не сопровождаются составлением геологической карты, но для лучшего понимания полученных данных и последующей их интерпретации весьма полезно наносить на карту выделяемые свиты, не смущаясь, если некоторые границы их окажутся проведенными несколько приближенно.

8. В полевых условиях необходимо иметь набор реактивов для производства простейших капельных реакций на уран и ванадий.

Вот, собственно, все основные вопросы, на которые надо обращать внимание при стратиграфо-литологических исследованиях в континентальных толщах, проводимых для определения возможной ураноносности тех или иных областей. Повторяем, что главным здесь является обследование обширных площадей, без чего невозможно ни выяснение общей картины литологического состава толщ, ни определение региональности ураноносных фаций, ни палеогеографические реконструкции. Последние представляют собой заключительный этап всех работ, позволяя не только воссоздать с той или иной степенью полноты физико-географическую обстановку изучаемой эпохи, но и, — что особенно важно, — облегчают понимание генезиса оруденения. Это, в свою очередь, делает дальнейшие поисковые работы более целеустремленными и направленными.

Бесплатно

5463