

553

Д 19

МОСКОВСКИЕ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ИТР

---

В. И. ДАНЧЕВ, Н. П. СТРЕЛЯНОВ, П. П. ШИЛОВСКИЙ

**МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ  
ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
УРАНА**

Москва — 1964

Постановлением Совета Министров СССР № 577 от 3 июня 1960 г. «О системе повышения квалификации руководящих и инженерно-технических работников отраслей народного хозяйства и работников государственного аппарата» предусмотрены мероприятия по изданию учебной и методической литературы в помощь ОПК предприятий.

Конспект лекций по курсу «Методы изучения экзогенных месторождений урана» издан по просьбе слушателей, обучавшихся на Московских курсах повышения квалификации ИТР с отрывом от производства, и в соответствии с заявками предприятий. В нем рассматриваются принципы классификации экзогенных месторождений урана, исходя из условий их образования, а также приемы и методы полевых, камеральных и лабораторных исследований, применяемых при изучении этой группы месторождений. В работе приводятся литературные источники, которые могут быть использованы для более глубокого ознакомления с затронутыми проблемами.

*ДАНЧЕВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ  
СТРЕЛЯНОВ НИКОЛАЙ ПАВЛОВИЧ  
ШИЛОВСКИЙ ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ*

## МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

Научный редактор  
Рецензент  
Подготовил к печати

**В. С. Князев  
Д. Я. Суражский  
Е. Ф. Александрочкин**

Сдано в набор 2/ХІ-1963 г.

Бумага 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Учетно-изд. листов 10,4, включая 3 вклейки Тираж 500 экз.

Л 79 794

Заказ 3307

Подписано к печати 25/ІХ-1964 г.

Цена **2** руб. 10 коп.

## ВВЕДЕНИЕ

За последние годы многие вопросы геологии, минералогии и геохимии урановых месторождений рассмотрены в ряде руководств, монографий и многочисленных статьях советских геологов (Д. И. Щербаков, В. В. Щербина, В. Г. Мелков, Д. Я. Суражский, Я. Д. Готман — 1955 г.; Р. В. Гецева и К. Т. Савельева — 1956 г.; М. В. Соболева и И. Л. Пудовкина — 1957 г.; В. Г. Мелков и Л. Ч. Пухальский — 1957 г.; Д. Я. Суражский — 1960 г.; А. А. Якжин — 1961 г.; В. Н. Котляр — 1961 г.; А. А. Сауков — 1961 г. и др.). Данные иностранных авторов обобщены в книгах В. С. Домарева — 1956 г. и М. М. Константинова и Е. Я. Куликовой — 1960 г. и др.

В работах указанных выше авторов проблемы геохимии, минералогии и геологии эндогенных, особенно — гидротермальных урановых месторождений

рассмотрены достаточно детально. Что касается экзогенных месторождений, то они описываются, как правило, крайне схематично.

Вместе с тем материалы международных конференций по мирному использованию атомной энергии, а также многочисленные публикации в периодических изданиях и сборниках показывают, что в геологии и экономике сырьевой базы урана за последнее время произошли существенные изменения. Наиболее примечательной особенностью этих изменений является резкое возрастание удельного веса как запасов, так и добычи урановых руд экзогенного происхождения.

Производство урана в капиталистических и колониальных странах за 7—8 лет — с 1953 г. — возросло в 6—7 раз и к

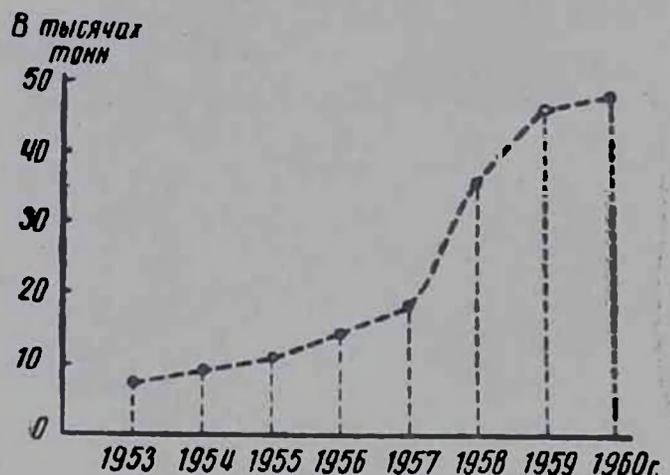


Рис. 1. Добыча урана в капиталистических странах.

1960—1961 гг. составило примерно 45—50 тыс. тонн (рис. 1) при общих разведанных запасах к 1961 г. порядка 1.000.000—1.200.000 тонн. Пожалуй, столь бурного роста добычи за сравнительно короткий промежуток времени в истории развития горнорудной промышленности не знал ни один из видов ми-

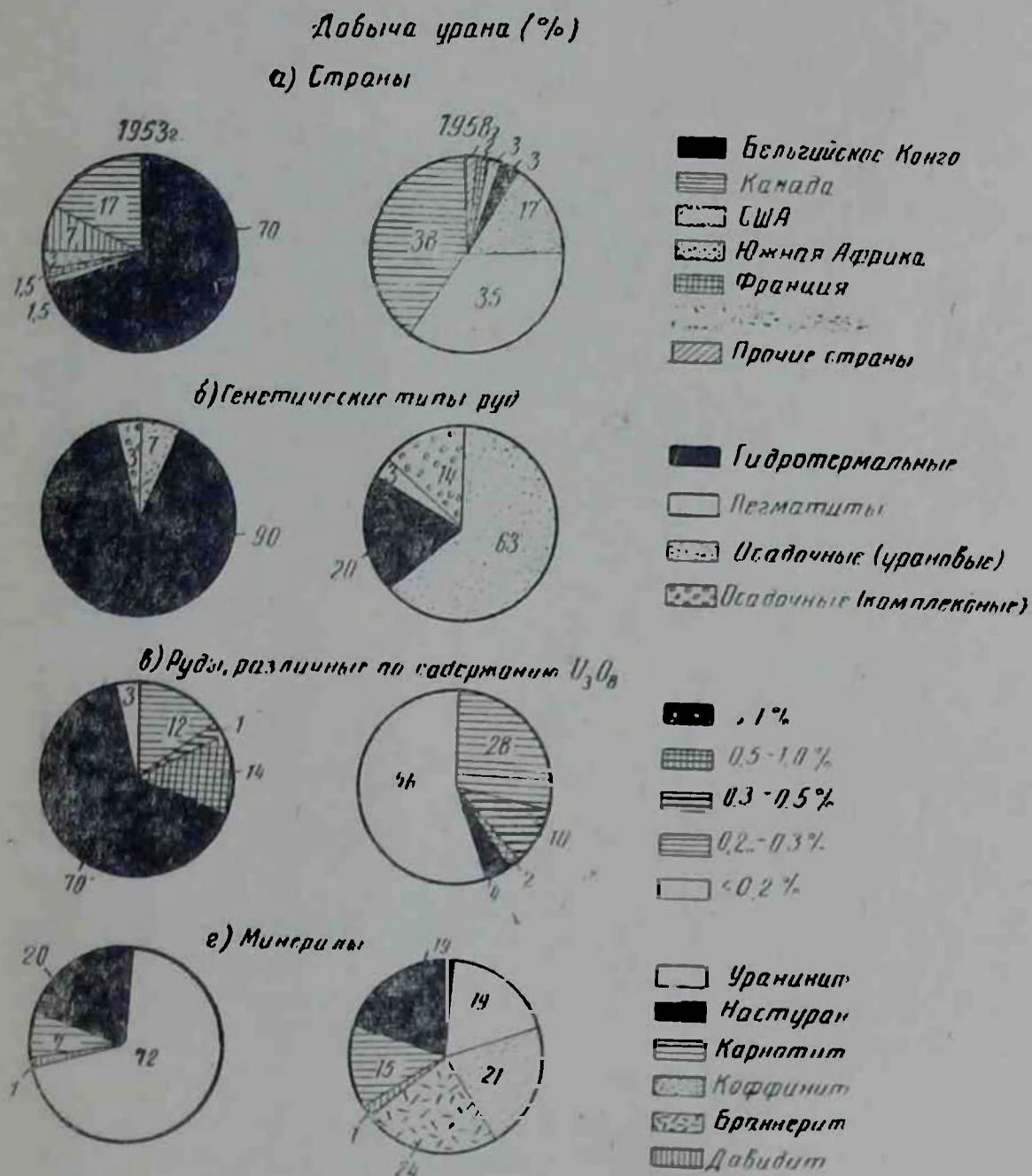


Рис. 2. Основные изменения в сырьевой базе урана капиталистических стран за 1953—1958 гг. (по М. М. Константинову и Е. Я. Куликовой, 1960).

нерального сырья.

Кроме резкой переориентации добычи урана со стран африканского континента на месторождения Канады и США (а на рис. 2), произошли существенные изменения и в добыче урана из месторождений различных генетических типов (б на рис. 2). Если в 1953 г. основная масса урана (90%) извлека-

лась из гидротермальных месторождений, обычно более богатых по содержанию металла в рудах, то с расширением добычи все в большей и большей мере привлекаются руды экзогенных месторождений, из которых к 1958 г. извлекалось до 77% от общей добычи урана капиталистических стран. При этом ведущую роль занимают осадочные урановые месторождения, которые дают до 63% урана.

С повышением роли экзогенных и собственно осадочных месторождений, в производство урана вовлекаются руды со значительно более низким содержанием в них металла, чем в рудах эндогенного, главным образом, гидротермального генезиса (в на рис. 2). Возможность использования более низкосортных (по содержанию урана) руд появляется благодаря постоянному совершенствованию технологии обогащения.

Минеральный состав руд, в связи с открытием новых экзогенных месторождений, становится более разнообразным (г на рис. 2). Кроме окислов урана — уранинита и настурана, а также наиболее широко распространенных минералов зоны окисления месторождений: всевозможных ванадатов, сульфатов, фосфатов и др., ведущее место в рудах вновь открываемых месторождений занимают силикаты и титанаты урана — коффинит и браннерит.

Распределение запасов и добычи урана в эндогенных и экзогенных месторождениях капиталистических и колониальных стран на 1958 г. иллюстрируется рис. 3. К этому времени 90% запасов связывается с экзогенными месторождениями. Причем основная масса (65%) приурочена к докембрийским конгломератам Южно-Африканского Союза и Канады. Генезис этих месторождений до сих пор является спорным и их принадлежность к группе экзогенных некоторыми исследователями оспаривается. Однако большинство геологов склонны относить их к так называемому осадочно-метаморфогенному типу, учитывая те или иные элементы метаморфизма вмещающих пород и соответствующие формы размещения в них минералов урана.

С открытием новых экзогенных, в том числе и осадочно-метаморфогенных месторождений, при резко возросших их масштабах около 3/4 выявленных запасов представлены рудами с содержанием металла меньше 0,1% (нижняя часть рис. 3).

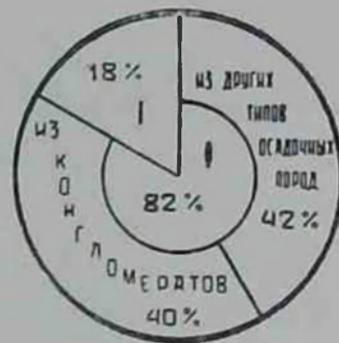
Наметившаяся тенденция все большего и большего освоения экзогенных месторождений урана заставляет по-новому решать вопросы промышленно-экономического использования руд экзогенных месторождений. Сравнительно низкие содержания в них урана компенсируются возможностью комплексного использования руд с одновременным извлечением из них молибдена, ванадия, селена, редких земель, фосфора и многих других элементов, попутная добыча которых может дать значительный экономический эффект.

Освоение экзогенных месторождений требует значительно большего внимания к подготовке кадров литологов-рудников, а также к созданию учебно-методических руководств, в которых должен систематически обобщаться опыт изучения такого рода месторождений.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ И ДОБЫЧИ УРАНА В ЭНДОГЕННЫХ (I) И ЭКЗОГЕННЫХ (II) МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

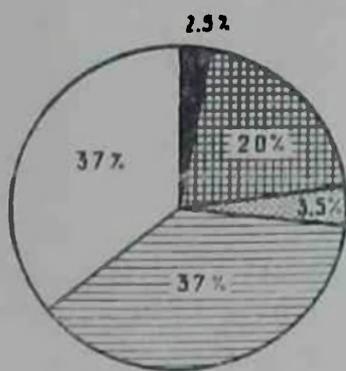


**ЗАПАСЫ**  
на 1958 г.  
800.000 т

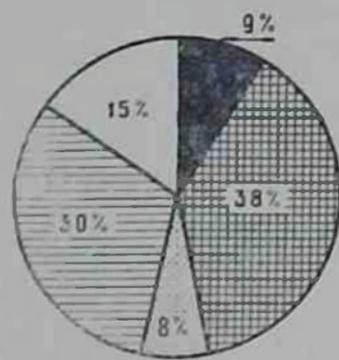


**ДОБЫТО**  
в 1957 г.  
18.200 т

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ И ДОБЫЧИ УРАНА ПО СОДЕРЖАНИЮ ЕГО В РУДЕ



**ЗАПАСЫ**  
на 1958 г.



**ДОБЫТО**  
в 1957 г.

**СОДЕРЖАНИЕ УРАНА В РУДЕ в %**

■ > 0.30	▨ 0.30 - 0.20	□ 0.20 - 0.10	▧ 0.10 - 0.05	□ < 0.05
----------	---------------	---------------	---------------	----------

Рис. 3. Распределение запасов и добычи урана в капиталистических странах (по Н. Зонтову, 1958).

Разработке основ генетической классификации экзогенных месторождений и описанию специфических методов их исследования посвящено настоящее руководство.

Основным разделам работы предшествует глава, в которой рассматривается состояние и основные проблемы науки об осадочных породах как теоретической базы поисков и прогнозирования экзогенных месторождений урана.

Успех работы по выявлению сырьевых ресурсов урана в осадочных горных породах зависит не только от знания условий формирования и классификации генетических типов экзогенных месторождений, но и от овладения теми общими и специфическими методами полевых и камерально-лабораторных исследований руд и вмещающих пород, с помощью которых выявляются закономерности их пространственного размещения. Этим вопросам посвящены последующие главы настоящего методического руководства. В них обосновывается целесообразность применения тех или иных методик, в зависимости от особенностей объекта и масштаба исследований, а также описываются практические приемы работы, которыми приходится пользоваться геологу-поисковику и разведчику при изучении месторождений и рудных районов.

Авторы глубоко признательны члену-корреспонденту АН СССР А. А. Саукову, заслуженному деятелю науки, члену-корреспонденту АН Узбекской ССР, профессору В. И. Попову, профессору-доктору геолого-минералогических наук Ю. А. Арапову и профессору-доктору геолого-минералогических наук Д. Я. Суражскому, поддержавших инициативу издания настоящего руководства и сделавших ряд критических замечаний в процессе работы над рукописью. Авторы благодарны также кандидату геолого-минералогических наук Л. С. Евсеевой, предоставившей свои материалы по методике изучения восстановительной емкости пород.

Авторы не претендуют на исчерпывающее изложение материала, считая данную работу первой попыткой в этой области, и будут благодарны за все критические замечания, которые позволят сделать методическое руководство более совершенным.

## ГЛАВА I

### НАУКА ОБ ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ. — ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПОИСКОВ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

Экзогенные месторождения полезных ископаемых формируются, как известно, под воздействием поверхностных процессов, протекающих в земной коре. В соответствии с этим ареной формирования экзогенных месторождений являются, главным образом, осадочные породы на всех стадиях их образования и изменения. Естественно, что знание закономерностей формирования осадочных пород во многом способствует выяснению условий образования содержащихся в них полезных ископаемых, в том числе и урана. В этом смысле наука, изучающая условия образования осадочных пород, вскрывающая закономерности их пространственного размещения, является теоретической базой поисков соответствующих полезных ископаемых.

Наука об осадочных породах, или как ее принято именовать — петрография или литология осадочных пород, среди других наук геологического цикла в настоящее время занимает одно из ведущих мест. Ее значение определяется тем, что осадочные горные породы слагают не менее 75—80% территории суши. С осадочными породами связаны важнейшие полезные ископаемые, без которых невозможно успешное развитие народного хозяйства страны. Все минеральное топливо — нефть, газ, уголь, горючие сланцы, торф — образуются в осадочных породах и извлекаются из них. Руды марганца, подавляющее большинство руд алюминия, железа, сырье для производства минеральных удобрений (фосфориты, калийные соли) имеют также осадочное происхождение. Благородные металлы (золото, платина), драгоценные камни (алмазы и др.), многие редкоземельные элементы, все шире и шире используемые в новой технике, концентрируются часто в осадочных породах и добываются из них. Каменные строительные материалы, огнеупоры, кислотоупоры, керамическое,

стекольное и оптическое сырье, многие виды химического сырья приурочены к осадочным породам и генетически с ними связаны.

Из доклада Оргкомитета Первому Всесоюзному совещанию по осадочным породам (1951 г.) известно, что «общая стоимость полезных ископаемых, добываемых из осадочных толщ, не менее чем в два раза превышает общую стоимость всех остальных добываемых полезных ископаемых». Можно с уверенностью сказать, что за истекшее десятилетие этот экономический показатель еще более возрос в пользу полезных ископаемых осадочного происхождения. Все это определяет не только выдающееся теоретическое, но и огромное практическое значение науки об осадочных породах.

Велико значение этой науки также для изучения и поисков месторождений радиоактивного сырья. Не говоря о промышленных месторождениях тория, запасы которого главным образом связаны с россыпями монацита, ортита и других торийсодержащих минералов, основные запасы урана (до 90%), по данным Второго Женевского совещания по мирному использованию атомной энергии (1958 г.), сосредоточены в экзогенных месторождениях (преимущественно осадочных и осадочно-метаморфогенных).

Литология развивается по двум главным направлениям: изучение вещественного состава и свойств осадочных горных пород, с одной стороны, и выяснение закономерностей их образования и пространственного размещения, с другой. Внутри этих крупных разделов можно выделить ряд более узких направлений.

Минералого-петрографическое направление, включая терригенно-минералогическое, занимается изучением минерального состава осадочных горных пород. Ближко примыкающее к нему геохимическое — решает вопросы миграции и концентрации химических элементов в процессе формирования и изменения осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых. В последние годы значительное развитие получило физико-механическое направление. Оно исследует физико-механические свойства осадочных горных пород — их пористость, проницаемость, трещиноватость. Специальные приборы позволяют изучать сопротивляемость пород механическим нагрузкам, что особенно важно при проектировании разнообразных наземных и подземных инженерных сооружений. Физико-механические свойства осадочных пород, наряду с их химико-минералогическим составом, чрезвычайно важны при решении многих проблем гидрогеологии и гидрогеохимии.

Историко-геологическое направление и близко примыкающее к нему формационное, используя методы историко-геологического анализа, ставит своей задачей выяс-

## ГЛАВА I

### НАУКА ОБ ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ. — ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПОИСКОВ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

Экзогенные месторождения полезных ископаемых формируются, как известно, под воздействием поверхностных процессов, протекающих в земной коре. В соответствии с этим ареной формирования экзогенных месторождений являются, главным образом, осадочные породы на всех стадиях их образования и изменения. Естественно, что знание закономерностей формирования осадочных пород во многом способствует выяснению условий образования содержащихся в них полезных ископаемых, в том числе и урана. В этом смысле наука, изучающая условия образования осадочных пород, вскрывающая закономерности их пространственного размещения, является теоретической базой поисков соответствующих полезных ископаемых.

Наука об осадочных породах, или как ее принято именовать — петрография или литология осадочных пород, среди других наук геологического цикла в настоящее время занимает одно из ведущих мест. Ее значение определяется тем, что осадочные горные породы слагают не менее 75—80% территории суши. С осадочными породами связаны важнейшие полезные ископаемые, без которых невозможно успешное развитие народного хозяйства страны. Все минеральное топливо — нефть, газ, уголь, горючие сланцы, торф — образуются в осадочных породах и извлекаются из них. Руды марганца, подавляющее большинство руд алюминия, железа, сырье для производства минеральных удобрений (фосфориты, калийные соли) имеют также осадочное происхождение. Благородные металлы (золото, платина), драгоценные камни (алмазы и др.), многие редкоземельные элементы, все шире и шире используемые в новой технике, концентрируются часто в осадочных породах и добываются из них. Каменные строительные материалы, огнеупоры, кислотоупоры, керамическое,

стекольное и оптическое сырье, многие виды химического сырья приурочены к осадочным породам и генетически с ними связаны.

Из доклада Оргкомитета Первому Всесоюзному совещанию по осадочным породам (1951 г.) известно, что «общая стоимость полезных ископаемых, добываемых из осадочных толщ, не менее чем в два раза превышает общую стоимость всех остальных добываемых полезных ископаемых». Можно с уверенностью сказать, что за истекшее десятилетие этот экономический показатель еще более возрос в пользу полезных ископаемых осадочного происхождения. Все это определяет не только выдающееся теоретическое, но и огромное практическое значение науки об осадочных породах.

Велико значение этой науки также для изучения и поисков месторождений радиоактивного сырья. Не говоря о промышленных месторождениях тория, запасы которого главным образом связаны с россыпями монацита, ортита и других торийсодержащих минералов, основные запасы урана (до 90%), по данным Второго Женевского совещания по мирному использованию атомной энергии (1958 г.), сосредоточены в экзогенных месторождениях (преимущественно осадочных и осадочно-метаморфогенных).

Литология развивается по двум главным направлениям: изучение вещественного состава и свойств осадочных горных пород, с одной стороны, и выяснение закономерностей их образования и пространственного размещения, с другой. Внутри этих крупных разделов можно выделить ряд более узких направлений.

Минералогическое петрографическое направление, включая терригенно-минералогическое, занимается изучением минерального состава осадочных горных пород. Ближко примыкающее к нему геохимическое — решает вопросы миграции и концентрации химических элементов в процессе формирования и изменения осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых. В последние годы значительное развитие получило физико-механическое направление. Оно исследует физико-механические свойства осадочных горных пород — их пористость, проницаемость, трещиноватость. Специальные приборы позволяют изучать сопротивляемость пород механическим нагрузкам, что особенно важно при проектировании разнообразных наземных и подземных инженерных сооружений. Физико-механические свойства осадочных пород, наряду с их химико-минералогическим составом, чрезвычайно важны при решении многих проблем гидрогеологии и гидрогеохимии.

Историко-геологическое направление и близко примыкающее к нему формационное, используя методы историко-геологического анализа, ставит своей задачей выяс-

нение связей между осадочными толщами и геологической, особенно тектонической, а также климатической обстановкой, существовавшей в различные периоды истории Земли. Эти направления по сути дела смыкаются с исторической геологией и включают в себя ранее возникшее фац и а л ь н о - л и т о л о г и ч е с к о е направление, которое решает палеогеографические задачи посредством изучения соотношений между различными типами осадочных образований для каждого из этапов геологической истории. Анализ событий для того или иного участка поверхности Земли осуществляется путем построения разнообразных литолого-фациальных и фациально-палеогеографических карт.

Для выяснения условий образования осадочных пород существенное значение имеет изучение осадков современных водоемов. Соответствующее направление в науке об осадочных породах известно как с р а в н и т е л ь н о - л и т о л о г и ч е с к о е.

Все эти направления, способствующие выяснению закономерностей пространственного размещения различных типов осадочных образований, весьма важны и для выявления закономерностей размещения осадочных полезных ископаемых, в том числе и рудных концентраций урана в осадочных породах. Полевые и лабораторные приемы и методы, применяемые в науке об осадочных породах, могут быть в значительной мере использованы при изучении рудовмещающих пород и руд экзогенных месторождений урана.

Из важнейших руководств, учебников и учебных пособий, освещающих основные проблемы литологии, следует указать, прежде всего, книгу М. С. Швецова — «Петрография осадочных пород». Эта книга явилась первым, опубликованным в нашей стране в 1934 г., учебным пособием и к настоящему времени, с некоторыми дополнениями и изменениями, выдержала три издания. Главное внимание в книге М. С. Швецова уделяется вопросам образования осадочных пород, их составу, строению и описанию их главнейших типов.

Значительным событием в науке об осадочных породах было появление в 1940 г. двухтомной монографии Л. В. Пустовалова «Петрография осадочных пород», отличающейся рядом крупных обобщений. Основное содержание этой работы подчинено двум важнейшим проблемам науки — «проблеме осадочной дифференциации» и «проблеме периодичности осадкообразовательного процесса в истории Земли». Существенное место в работе Л. В. Пустовалова занимает учение о геохимических фациях, разработанное им ранее (1933 г.).

В 1953 г. публикуются «Основы литологии» Л. Б. Рухина. Это учебное руководство как в первом, так и во втором издании (1961 г.) выгодно отличается от предыдущих тем, что в нем большое внимание уделяется учению о фациях и форма-

циях. Данные вопросы получили еще более полное освещение в работе того же автора «Основы общей палеогеографии» (1959, 1962 гг.).

Ряд крупных работ и учебно-методических руководств посвящен отдельным разделам науки об осадочных породах: «Минералы осадочных пород» А. И. Преображенского и С. Г. Саркисяна (1954 г.), «Аутигенные минералы осадочных пород» Г. И. Теодоровича (1958 г.), того же автора — «Учение об осадочных породах», применительно к геологии нефти и угля (1958 г.).

В 1960—62 гг. публикуются «Основы теории литогенеза» Н. М. Страхова. В этом монографическом издании рассматриваются процессы образования осадочных пород в различных палеоклиматических условиях. Автор придает большое значение палеоклиматической зональности и при разработке вопросов образования осадочных полезных ископаемых.

В указанных выше руководствах рассматриваются основные разделы науки об осадочных породах. Благодаря разностороннему подходу авторов в совокупности создается достаточно полное представление о состоянии ее главнейших проблем. Это позволяет перечисленные выше книги рекомендовать в качестве важнейших пособий.

Трудно ответить на вопрос, какой из разделов науки об осадочных породах наиболее важен при изучении экзогенных месторождений урана. Поскольку, как мы увидим далее, концентрации урана приурочены к самым различным группам осадочных пород — обломочным, хемогенным и органогенным, то разностороннее изучение вещественного состава, свойств и условий формирования пород этих типов в равной мере представляет большой интерес.

Проблема осадочной дифференциации в различных структурно-тектонических областях Земли при разнообразных палеоклиматических обстановках выступает на первый план при поисках экзогенных месторождений урана в пределах таких крупнейших элементов земной коры, как платформы, геосинклинали, межгорные впадины, передовые прогибы и прочее.

Проблема периодичности осадкообразовательного процесса в истории Земли, тесно связанная с учением об осадочных формациях, служит основой для представлений о металлогенических эпохах и металлогенических провинциях. Эти представления разрабатываются рядом исследователей (М. Н. Альтгаузен, М. М. Константинов, В. И. Попов и др.).

Учение о фациях, в том числе о геохимических фациях, лежит в основе разработки методик составления литолого-фациальных и палеогеографических карт и прогнозных карт для отдельных регионов и рудных площадей.

Специального внимания заслуживает изучение геохимических условий миграции и концентрации соединений урана в

земной коре, а также моделирование этих условий в лабораторной обстановке. Как известно, миграционная способность химических элементов объясняется в геохимии так называемыми внутренними и внешними факторами миграции. Первые из них связываются с химическими особенностями самого элемента (его строением, валентностью, атомным весом, способностью к радиоактивному распаду и др.), вторые — с условиями внешней среды (температурой, давлением, концентрацией вещества, величиной рН и др.). Взаимодействие этих факторов и определяет геохимическую подвижность различных химических элементов, в том числе урана и его соединений.

Высокая миграционная способность урана в поверхностной зоне земной коры обуславливает большое разнообразие геохимических процессов, приводящих, с одной стороны, к образованию его промышленных концентраций, а с другой — к широкому рассеянию металла. Большая роль при этом принадлежит подземным водам, как создающим, так и разрушающим рудные концентрации на наиболее поздних этапах существования рудовмещающих пород. Знание законов, управляющих миграцией урана с подземными водами, дает в руки геологов широко используемые ныне гидрогеохимические методы поисков урановых месторождений.

Таким образом, концентрации урана, в том числе и промышленные, могут возникать в разнообразных палеогеографических обстановках, на разных стадиях образования и изменения осадочных пород. Поэтому знание основ науки об осадочных породах обязательно для каждого геолога, занимающегося изучением экзогенных месторождений урана и принимающего участие в поисково-разведочных или эксплуатационных работах.

## ГЛАВА II

### О КЛАССИФИКАЦИИ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА И УСЛОВИЯХ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Важным разделом учения о полезных ископаемых являются вопросы систематики, классификации месторождений минерального сырья. Месторождения принято делить на три класса: **эндогенные**, образовавшиеся в глубине земной коры в тесной связи с магматической деятельностью (месторождения магматические, пегматитовые, метасоматические, гидротермальные); **экзогенные**, возникшие в результате поверхностного выветривания и осадкообразования, и **метаморфогенные**, сформировавшиеся под воздействием высоких температур и давлений в погружающихся осадочных толщах [1, 2, 3, 4].

Классификации экзогенных месторождений урана посвящены многие работы советских и зарубежных авторов [2, 7, 11, 18, 20, 21, 34, 35, 37, 41, 43]. Ниже в хронологическом порядке приведены классификации, заимствованные главным образом из отечественных изданий. Из иностранных источников выбраны лишь две схемы, которые в какой-то мере оригинальны по своему содержанию. Они были предложены Р. П. Фишером (1955 г.) для группы месторождений плато Колорадо и Дж. Гриффитом, А. Лангом, С. Робинсоном и др. (1951—1958 гг.) для ряда месторождений Канады. Эти классификации основываются на различии содержания в рудах разнообразных элементов — спутников урана: ванадия, меди, фосфора и др., с учетом особенностей состава рудовмещающих пород. В классификации канадских геологов, наряду с собственно осадочными, выделяются гипергенные месторождения, связанные с зоной окисления, а также образованные просачивающимися водами. Этому последнему способу формирования урановых рудных залежей в осадочных породах придает большое значение японский геолог Новоу Катаяма [47].

Генетическая классификация канадских  
месторождений радиоактивных руд

II. Осадочные*	Примеры:	Характерные элементы:	Характерные урановые минералы
Россыпи	Район Кордильер Лак де-Грас	Th, U, Ce, P, Zr, Fe (Nb, Ta, Ti, W, Sn)	Монацит, уранинит, тирэхлор, циркон
Конгломераты	Блайнд-Ривер	U, Th, Ti, Ce, P, Fe (Cr, Zr, C)	Браниерит, уранинит, моиацинт, ураногорит, циркон
Песчаники	Мидл-Лейк	U, Ca, P	Отенит, фосфураннилит
Доломиты	Мак-Лин-Бей	Th, U, Fe	Монацит
Фосфатные породы	Район Ферни	U, Ca, P, C	Неизвестны
Углеродистые месторождения	Морские сланцы, линзны, карманы в песчаных	U, C, H	Неизвестны
III. Супергенные			
Месторождения зоны окисления	В большинстве первичных месторождений	Fe, U, Si, Se, V, As, S, Al, Mn (Pb, Cu, Co, Ni)	Уранофан, лейбигит, циппеит, «гуммиты» и др.
Месторождения, образованные просачивающимися водами	Месторождения Гуннар и Фиш-Хук-Бей	U, Si, S	Уранофан, вторичная урановая смола (?), тухолит (?)

\* В разделе I авторы приводят — «Магматические и связанные с ними месторождения (пегматитовые, метасоматические, гидротермальные).

## КЛАССИФИКАЦИИ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА (приводятся в хронологической последовательности)

по В. В. ЩЕРБИНЕ [41] — 1946. Б. \* Супергенные месторождения;

- I. Месторождения зоны выветривания:
  - а) фосфатно-карбонатно-силикатный тип.
- II. Осадочные месторождения:
  - а) карнотитовые песчаники;
  - б) месторождения в известняках, включая карстовый тип.
- III. Каустобиолитовые месторождения:
  - а) месторождения углей и горючих сланцев;
  - б) месторождения битумов и асфальтитов.

по Я. Д. ГОТМАНУ [7] — 1955. Осадочные месторождения;

Месторождения морского происхождения:

- 1) месторождения в глинах или в глинистых сланцах, содержащих органические остатки;
- 2) месторождения в органогенных известняках;
- 3) месторождения в фосфоритсодержащих песчаниках и глинах.

Месторождения озерного и болотного происхождения:

- 1) месторождения в песчаниках, содержащих растительные остатки;
- 2) месторождения в мергелях, содержащих остатки животных организмов;
- 3) месторождения в бурых углях и богхедах.

по Р. П. ФИШЕРУ [37] — 1955. Классификация месторождений  
плато Колорадо:

- I. По составу вмещающих пород:  
месторождения
  - 1) в песчано-аргиллитовых породах;
  - 2) в песчаниках;
  - 3) в песчано-глинистых породах — аргиллитах, алевролитах и глинистых песчаниках. (Эти породы от первой группы отличаются более глинистым составом).
- II. По относительному содержанию урана, ванадия и меди:
  - 1) ванадиево-урановые месторождения, содержащие от 1 до 20 частей  $V_2O_5$  на одну часть  $U_3O_8$ ;
  - 2) ванадиевые (урановые) месторождения, с содержанием от 20 до 40 частей  $V_2O_5$  на одну часть  $U_3O_8$ ;
  - 3) медно-урановые месторождения, в которых содержание меди в несколько раз превосходит содержание урана;
  - 4) урановые (ванадиево-медные) месторождения, в которых уран ( $U_3O_8$ ) встречается в относительно большем количестве, чем ванадий ( $V_2O_5$ ) и медь.

по Д. Я. СУРАЖСКОМУ [34] — 1955. II \*\* Осадочные  
(сингенетические) месторождения;

- 1) морские сланцы;
  - 2) морские фосфориты.
- III. Осадочно-метаморфогенные месторождения:
    - 1) залежи в известняках;
    - 2) залежи в углисто-кремнистых сланцах.

---

\* В разделе «А» автор приводит гипогенные месторождения — пегматитовые жилы, кварцево-вольфрамовые жилы и гидротермальные жилы (кварц-карбонатные и медно-сульфидные).

\*\* В параграфе I автор приводит магматогенные месторождения (пегматитовые и гидротермальные).

IV. Месторождения выветривания:

- 1) залежи в песчаниках и конгломератах;
- 2) залежи в суббитуминозных углях и лигнитах.

по В. С. ДОМАРЕВУ [11] — 1956. Экзогенные месторождения \*;

I. Месторождения выветривания:

- 1) окисленные зоны эндогенных месторождений;
- 2) инфильтрационные образования.

II. Осадочные месторождения:

- 1) прибрежно-морские и аллювиальные россыпи монацита;
- 2) концентрации урановых минералов в болотно-речных отложениях;
- 3) концентрации урана в битуминозных сланцах;
- 4) концентрации урана в фосфоритах;
- 5) залежи урановых руд в пестроцветных толщах;
- 6) ураносодержащие известняки;
- 7) ураносодержащие угли.

по В. Г. МЕЛКОВУ и Л. Ч. ПУХАЛЬСКОМУ [21] — 1957.

III \*\* Экзогенные месторождения;

1. Осадочные месторождения морского происхождения.
2. Осадочные месторождения озерного, речного и болотного происхождения.
3. Прочие месторождения выветривания (инсоляционные, карстовые и другие).

по А. Г. БЕТХТИНУ [2] — 1959.

I. Россыпные месторождения:

- 1) аллювиальные россыпи;
- 2) морские и дюнные россыпи.

II. Сингенетические месторождения (собственно осадочные):

- 1) в конгломератах и песчаниках;
- 2) в глинистых отложениях;
- 3) в мергелях, глинистых известняках и фосфоритах;
- 4) в каустобиолитах (торфяники, бурые и каменные угли, нефти, асфальтиты).

III. Эпигенетические месторождения (инфильтрационные):

- 1) в песчаниках и конгломератах;
- 2) в каустобиолитах.

IV. Метаморфизованные месторождения.

по Д. Я. СУРАЖСКОМУ [35] — 1960.

Б \*\*\* Экзогенные месторождения;

III. Сингенетические месторождения в морских осадках:

- 7) урансодержащие черные сланцы;
- 8) урансодержащие фосфориты;
- 9) урансодержащие глины с костными остатками ископаемых рыб;
- 10) урансодержащие морские песчаники.

IV. Эпигенетические (инфильтрационные) месторождения в континентальных осадках:

- 11) собственно-урановые, медно-урановые, уран-ванадиевые и другие пластообразные и линзообразные залежи в грубозернистых пес-

---

\* Автор выделяет также группу эндогенных и метаморфогенных месторождений.

\*\* В параграфах I и II авторы приводят типы магматогенных месторождений и месторождений неясного генезиса.

\*\*\* В разделе «А» автор приводит эндогенные месторождения: I — пегментовые и пегматондные и II — гидротермальные.

чаниках, конгломератах и других породах преимущественно флювиального происхождения;

12) собственно урановые пластообразные залежи в каустобиолитах.

V. Метаморфогенные месторождения:

13) собственно урановые пластообразные, линзообразные и гнездообразные залежи в органогенных известняках, углисто-глинистых и глинисто-кремнистых сланцах.

VI. Древние метаморфизованные россыпи:

14) золото-урановые и уран-ториевые пластообразные залежи в допалеозойских конгломератах.

по В. И. КОТЛЯРУ [18] — 1961. Класс II\*. Экзогенные месторождения урана

Класс II\*. Экзогенные месторождения урана

Группа I. Месторождения выветривания:

Подгруппа 1. — Зона окисления месторождений.

Подгруппа 2. — Инфильтрационные месторождения.

Группа II. Осадочные месторождения:

Подгруппа 1. — Месторождения в речных, озерных и болотных отложениях.

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

Подгруппа 3. — Месторождения в морских отложениях.

Класс III. Метаморфогенные месторождения урана

Группа I. Месторождения в углисто- и кремнистоглинистых сланцах.

Группа II. Месторождения в древних конгломератах.

по А. А. ЯКЖИНУ [43] — 1961. Б.\*\* — Экзогенные месторождения:

I. Месторождения выветривания:

- 1) зона окисления и цементации месторождений;
- 2) инфильтрационные месторождения;
- 3) инсоляционные месторождения.

II. Осадочные месторождения:

1. Морского происхождения.

Концентрация урана:

- 1) в битуминозных сланцах;
- 2) в глинистых сланцах;
- 3) в фосфоритах;
- 4) в известняках;
- 5) в песчаниках.

2. Континентального (озерного и речного) происхождения.

Концентрация урана:

- 1) в песчаниках и конгломератах;
- 2) в известняках и мергелях.

3. Россыпные месторождения:

- 1) прибрежно-морские россыпи монацита, пирохлора и других урансодержащих минералов;
- 2) аллювиальные россыпи.

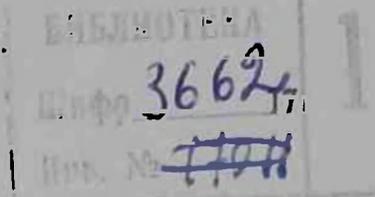
V. Метаморфогенные месторождения:

I. Метаморфизованные урановые месторождения:

- 1) ураноносные конгломераты Витватерсранда, Блайнд-Ривер и др;
- 2) урансодержащие битумы в докембрийских породах Швеции.

\* В классе I автор приводит классификацию эндогенных месторождений.

\*\* В разделе «А» даны эндогенные месторождения.



## II. Собственно метаморфические месторождения урана:

- 1) ураноносные залежи в метаморфизованных известняках и сланцах;
- 2) ураноносные залежи в кремнистых песчаниках.

### Г. Прочие месторождения

- 1) ураноносные асфальтиты, битумы, горные смолы,
- 2) концентрация урана в водоемах.

С более общих позиций к классификации экзогенных месторождений урана подходят советские геологи. В большинстве предложенных ими схем среди экзогенных выделяются группы месторождений выветривания и собственно осадочные.

Осадочные месторождения, в свою очередь, разделяются по фациально-палеогеографическим особенностям рудовмещающих пород на месторождения морского, лагунного, озёрного, прибрежно-дельтового, аллювиального и другого генезиса. Для еще более подробной характеристики привлекается состав вмещающих пород; выделяются месторождения в глинах и глинистых сланцах, фосфоритах, карбонатных породах, различных типах обломочных пород — алевритах, песчаниках, гравелитах, конгломератах. Выделяются также месторождения в углях, асфальтитах и других разновидностях каустобиолитов.

Сравнительный анализ классификационных схем, приведенных выше, показывает, что с течением времени они все более и более усложнялись, так как по мере изучения конкретных месторождений авторы стремились отразить все многообразие вновь выявленных фактических данных.

Последняя из приведенных классификаций (А. А. Якжин, 1961 г.) ближе всего отвечает современному состоянию знаний экзогенных месторождений урана. Вместе с тем и она не лишена ряда недостатков. Некоторые из них легко устранимы, другие связаны с недостаточной изученностью месторождений и могут быть исправлены в ходе дальнейших исследований.

Нельзя признать, например, удачной последовательность выделения палеогеографических комплексов и типов рудовмещающих пород в группе «II — осадочные месторождения». Было бы правильнее расположить их по ходу осадочного процесса, то есть от источника сноса к области седиментации (от континентальных к морским). Выделение среди «метаморфогенных месторождений» одновременно «метаморфизованных» и «собственно метаморфических» не получило достаточного обоснования в работе А. А. Якжина [11], хотя этот вопрос имеет принципиальное значение, так как в классификации А. Г. Бетехтина (1959 г.), например, выделяются лишь «IV — метаморфизованные месторождения» на том основании, что в процессе метаморфизма, как полагает А. Г. Бетехтин [2],

происходит только преобразование ранее возникших месторождений, а не создание новых. Дополнительный фактический материал по ураноносности метаморфических пород, полученный в последние годы [6, 13, 18, 32, 35], как нам представляется, позволит полнее обосновать представления А. А. Якжина, по-видимому, ближе отвечающие действительности.

Вопрос о стадиях формирования уранового оруденения в месторождениях осадочной группы в классификации А. А. Якжина совершенно не затронут. Возможно, что эта проблема требует специального рассмотрения, хотя в последних классификациях А. Г. Бетехтина (1959 г.) и Д. Я. Суражского (1960 г.) сделана попытка среди этой группы месторождений выделить «сингенетические (собственно осадочные)» и «эпигенетические (инфильтрационные)». Первые из них, как справедливо считает Д. Я. Суражский, характерны, главным образом, для морских отложений, вторые — для континентальных.

Изменения осадочных пород и рудных залежей на разных стадиях их преобразования — в процессе диагенеза и прогрессивного эпигенеза — метагенеза и метаморфизма, с одной стороны, и в период регрессивного эпигенеза [29], включая и гипергенез, — с другой, изучены еще крайне слабо. Вместе с тем хорошо известно, что условия образования рудных концентраций достаточно полно отражаются в текстурных особенностях руд, в формах рудных залежей и закономерностях их пространственного размещения. В связи с этим по формам нахождения рудных минералов, последовательности их образования, по особенностям рудных текстур, морфологии рудных залежей и их положению в стратиграфическом разрезе, в фациальном и структурно-тектоническом плане региона представляется возможным судить о генезисе рудных залежей, о времени и условиях образования месторождений.

Яркой иллюстрацией формирования урановых концентраций в различных фациальных обстановках являются залежи одной из ураноносных провинций США — плато Колорадо (рис. 4), в пределах которой урановое оруденение связано с разнообразными вмещающими породами и не только с субаквальными, но и с субаэральными фациями отложений третичного возраста, мела, юры, триаса и перми [14].

Плато Колорадо не единственный пример приуроченности урановых концентраций к разнообразным типам вмещающих пород, образование которых происходило в самых различных условиях. Как показали многочисленные исследования в ряде урановых провинций мира, урановые концентрации возникают на разных стадиях формирования осадочных вмещающих пород, начиная с накопления осадка (седиментогенеза) и его преобразования в осадочную породу (диагенез) и кон-

чая наиболее поздними этапами жизни пород. Начальные процессы рудообразования, относящиеся к седиментогенезу и диагенезу осадка, подчиняются, как известно, одним зако-

Периоды	Формация или горизонты	Общая добыча из горизонта	Условия отложения
Третичный	Монзонитовый порфир		Изверженные шлаки
	Браунс парк формация		Речные
	Ойлохочл формация		Озерные
	Юнта формация		Речные
	Уосэч формация		Речные
Меловой	Пикчуред Клифф песчаники		Речные
	Месаберд еруппа		Речные
	Дакота песчаники		Речни лагуны
	Барро каньон формация		Речные
Юрский	Браши Бейсин сланцы		Речные
	Весткотер песчаники		Речные
	Рекаптур сланцы		Речные
	Салт Уаш песчаники		Речные
	Блафф песчаники		Золотые
	Суммерфилл формация		Озерные
	Керрис формация		Морские
	Тодилто известняки		Озерные
	Энтрада песчаники		Золотые
	Кармел формация		Прибрежные моря
Юрский ?	Кийэнта формация		Речные
	Вингзит песчаники		Золотые
Триасовый	Чинл формация		Речные
	Шаинарамп конгломераты		Речные
	Моккопи формация		Речные
	Китлер (биг баг) формация		Речные
	Кэйпоб известняки		Морские
	Дачелли песчаники		Золотые
Пермский	Коконино песчаники		Золотые
	Хермшл сланцы		Речные
	Ськипай формация		Речные
	Рико формация		Речные
Пенсильванский	Хермоза формация		Морские



Рис. 4. Ураноносные горизонты осадочных толщ плато Колорадо (по П. Ф. Кэрру, 1956):

1 — минерализованные зоны; 2 — добыча до 1000 т; 3 — добыча свыше 1000 т.

номерностям — фациально-геохимическим, палеогеографическим, определяющим также условия образования и особенности пространственного размещения вмещающих пород.

Возникновение урановых концентраций в уже сформировавшихся и часто дислоцированных толщах пород связано с иными, более поздними наложенными — гидрогеохимическими процессами.

Доказательством разностадийности урановых концентраций в месторождениях, приуроченных к карбонатным породам

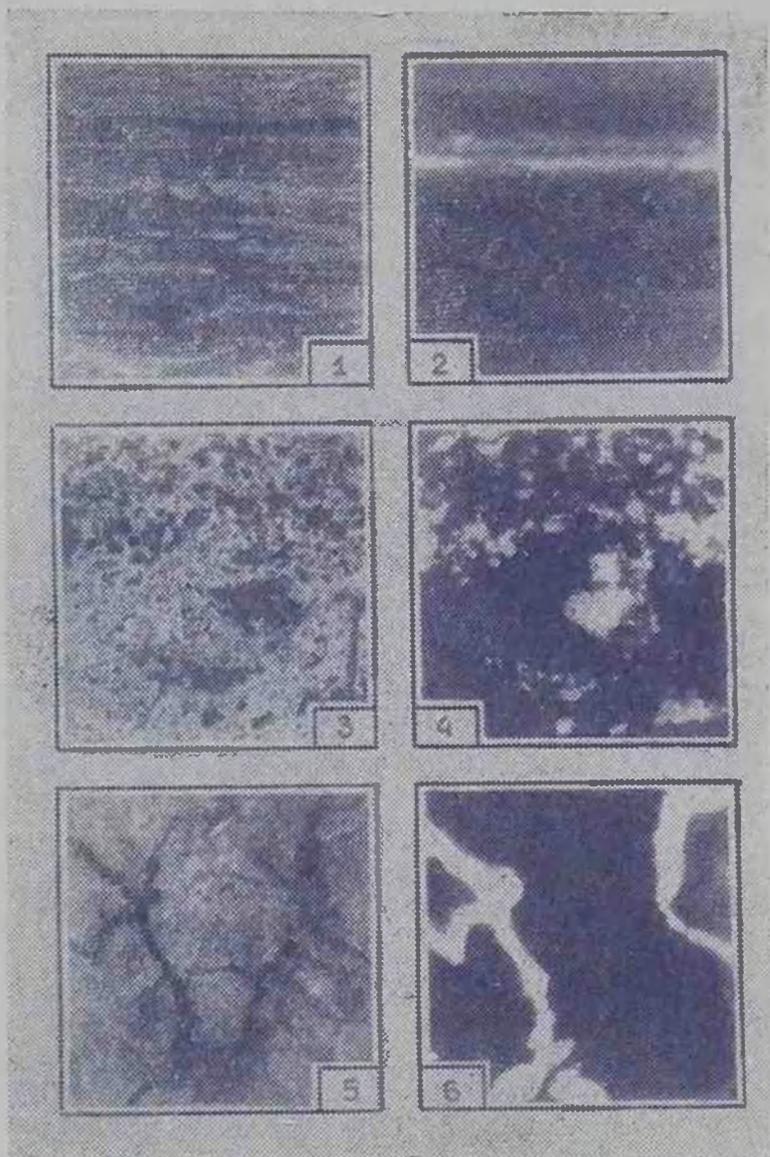


Рис. 5. Текстуры руд в карбонатных ураноносных породах нижнетретичного возраста:

1 и 2 — слоистая (седиментационная); 3 и 4 — сгустковая (диагенетическая); 5 и 6 — трещинная (эпигенетическая). Слева — фотографии шлифов, справа — радиографии.

нижнетретичного возраста, являются текстурные особенности руд и формы минеральных выделений во вмещающих породах [9] (рис. 5, 6, 7). При классификации экзогенных месторождений урана необходимо, таким образом, учитывать все особенности рудообразующего процесса, то есть условия и время образования рудных концентраций.

Наиболее рационально стадии рудообразующего процесса рассматривать при этом в соответствии со стадиями формирования рудовмещающих осадочных пород [10, 30].

Для обоснования высказанного положения остановимся более подробно на тех процессах, которые приводят к возникновению рудных концентраций в осадочных породах. Их образование на различных стадиях формирования вмещающих

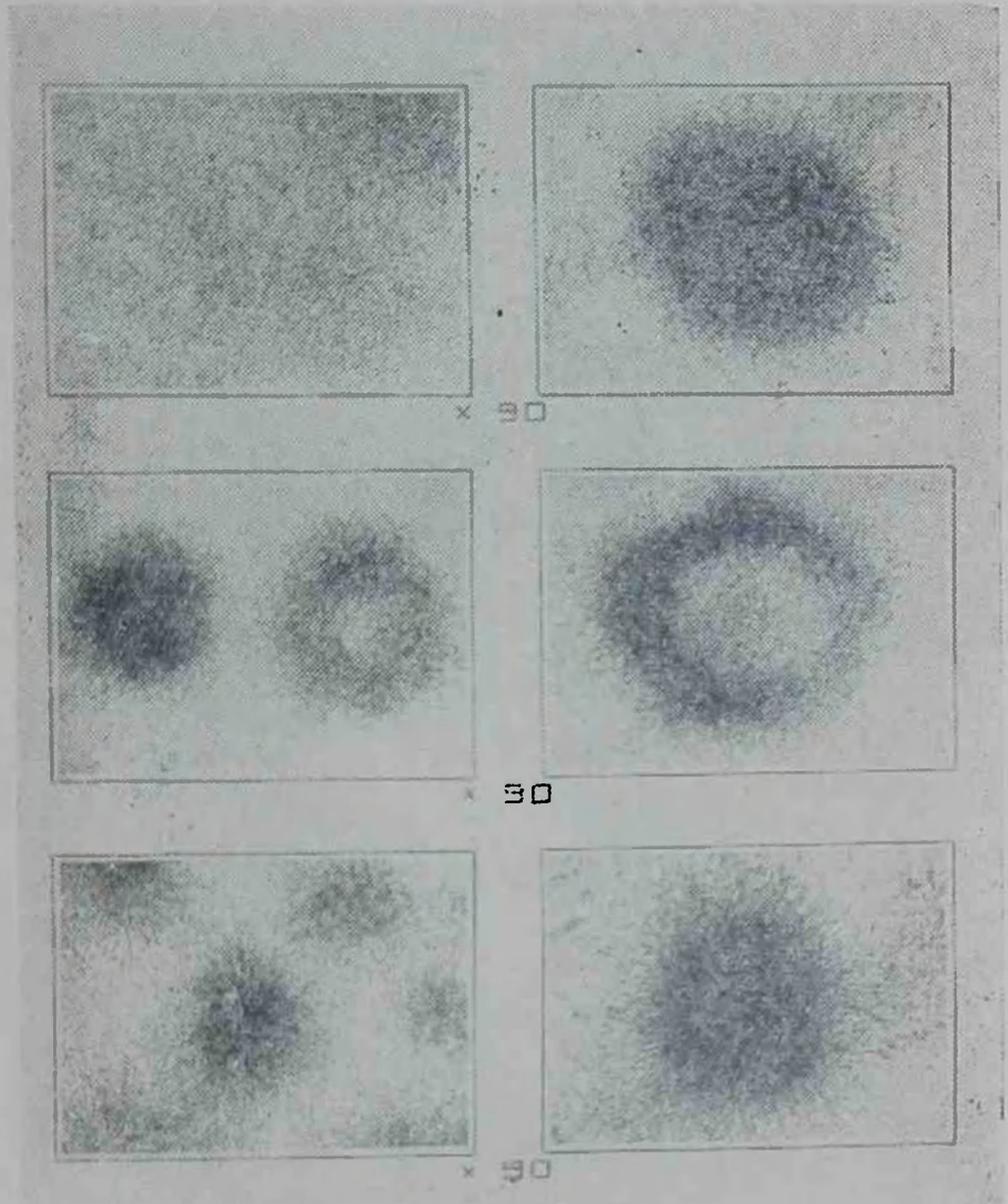


Рис. 6. Равномерная и сгустковая формы выделения урана в нижнетретичных карбонатных породах, характеризующие седиментационную и диагенетическую стадии рудообразования (микрорадиографии).

пород, как отмечалось выше, является следствием высокой миграционной способности урана. Формы его миграции и условия осаждения были рассмотрены в ряде работ В. Г. Мелкова, В. В. Щербины, А. И. Перельмана и других авторов [21, 24, 41, 42].

Известно, что уран может быть связан с обломочной частью осадочных пород, и в этом случае его миграция осу-

ществляется в процессе механической дифференциации вещества в зоне осадкообразования. Обычно он входит в состав аксессуарных и других минералов, мигрирует с гальками конгломератов и гораздо реже встречается в виде окатанных зерен уранинита.

Значительно шире протекает миграция урана в форме химических соединений: гидроксилуранилкарбоната, гидроксил-

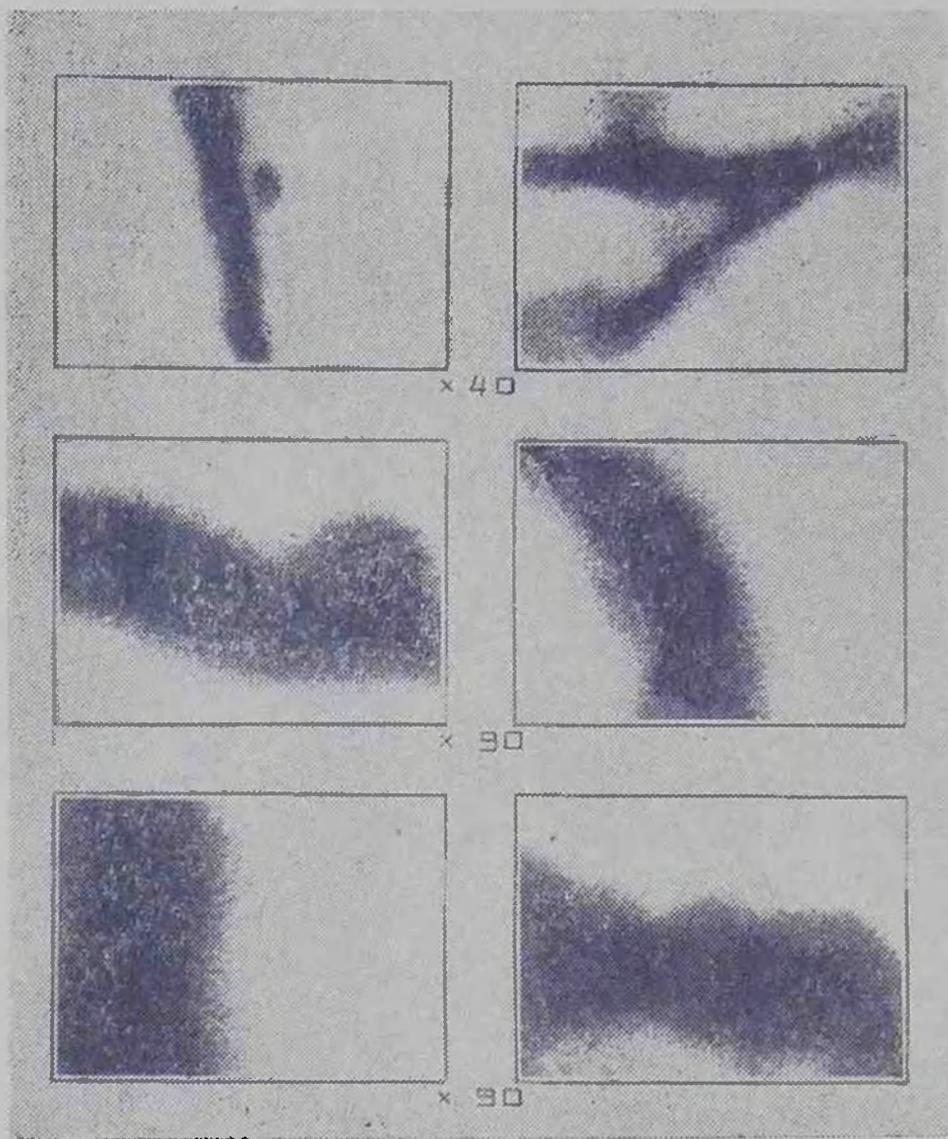


Рис. 7. Трещинные (эпигенетические) формы выделения урана в нижнетретичных карбонатных породах (микрорадиографии).

уранилсульфата, в форме золя гидроокиси уранила, углекислых комплексных солей типа  $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2]$ , в виде урано-органических и других соединений. Весьма существенная роль в миграции урана принадлежит также минеральным коллоидам и в особенности органическим соединениям, сорбирующим его, как показали эксперименты [27, 28], в значительных количествах.

В соответствии с этим повышенные концентрации урана могут принадлежать к различным составным частям осадочных пород, а именно к кластогенной (обломочной), хемогенной (часто цементирующей) и органогенной или биогенной, представляющей собой остатки жизнедеятельности растений и животных и продукты их изменения. Если промышленные концентрации урана связаны с обломочной частью осадочных пород, то урансодержащие минералы присутствуют в ней среди других аксессуаров. Монацитовые, пирохлоровые и другие россыпи урансодержащих минералов являются типичным примером этой группы месторождений. Известно присутствие уранинита, урановой смолки, черней и других урановых минералов в гальках конгломератов. Формирование рудных залежей протекает в этом случае, как и при образовании россыпей, в раннюю стадию накопления осадка — стадию седиментогенеза. Подобные концентрации урана в конгломератах и россыпях могут быть отнесены, таким образом, к группе кластогенных месторождений. Диагенетические и различного характера эпигенетические изменения в них проявляются в разной степени; либо эти стадии породообразования почти не оставляют своего следа на облике вмещающих пород, примером чего могут служить некоторые монацитовые и другие россыпи; либо процессы, связанные с региональным эпигенезом и метаморфизмом, особенно в древних толщах, настолько сильно изменяют облик рудовмещающих пород и оказывают столь сильное влияние на перераспределение рудных концентраций, что вопросы генезиса уранового оруденения становятся предметом острых дискуссий [19, 20, 45, 47].

Для того, чтобы показать различные соотношения между образованием урановых концентраций в осадочных породах разного состава и стадиями формирования последних, на рис. 8 концентрации урана сгруппированы, с одной стороны, по типам вмещающих пород, а с другой — по стадиям рудообразующих процессов. При этом достаточно ясно видно, что для группы кластогенных решающую роль играет стадия седиментогенеза, а для хемогенных и биогенных — диагенетические и эпигенетические процессы.

Поскольку до сих пор многие детали образования рудных залежей еще недостаточно ясны, в соответствующих частях (рис. 8) оставлены знаки вопроса.

Концентрации урана, связанные с хемогенной частью породы, могут возникнуть как в процессе осаждения различных химических и коллоидных соединений из вод бассейнов и из иловых вод, пропитывающих свежесвыпавший осадок (седиментационные и диагенетические концентрации), так и из грунтовых вод, дренирующих уже сформировавшиеся толщи осадочных пород (эпигенетические образования). В связи с низкими концентрациями урана в водах озерных и морских

По типам блещающих пород	По стадиям рудобразующих процессов	Седименто- генез	Диагенез	Эпигенез		Гипергенез
				процес- сы	сред- ств	
<p><b>КЛАСТОГЕННЫЕ</b></p> <p>Ураномасные конгломераты, галька- ми, содержащими ураномасные осадочные материалы, черны и другие ураномасные породы (монациевые, ортитовые и др.)</p>						
<p><b>БИОГЕННЫЕ</b></p> <p>Концентрации урана связаны с слабейшим и преобладанием в осадочных породах органического вещества.</p> <p>Ураномасные торфянистые угли, горючие сланцы, асфальты.</p> <p>Концентрации урана в осадоч- ных породах органических</p>						

Рис. 8. Типы концентраций урана в осадочных породах.

ках. Широким распространением в осадочных породах различного возраста пользуются рудные концентрации многих элементов, в том числе и урана, связанные с обуглившимися растительными остатками древесины, а также с пластами углей некоторых угольных месторождений.

Значительные накопления урана и других элементов обнаружены также в скелетных остатках животных. Широко известны выполнения урановыми чернями и смолкой костной ткани крупных позвоночных, обнаруженных в осадочных породах различного геологического возраста. Английские ученые С. Беви и Э. Аткин [44] отмечают повышенные концентрации урана (до 0,50%) в скелетных остатках рыб из девонских отложений Шотландии. Интересные наблюдения проведены М. Н. Альтгаузенем, указывающим на повышенные концентрации урана (до 0,01%) в костях и чешуе рыб, обитающих в некоторых современных водоемах.

Таким образом, органическое вещество в осадочных породах часто определяет специфику и направление геохимических процессов. Ему как концентратору урана, на что обращал внимание еще академик В. И. Вернадский, обычно принадлежит ведущая роль. Если урановые концентрации приурочены к продуктам жизнедеятельности растений и животных, как это имеет место в торфяниках, угленосных отложениях, горючих сланцах, асфальтитах, а также в скелетных остатках наземных позвоночных и рыб, то месторождения этого типа могут быть отнесены к группе биогенных (рис. 8).

На седиментационные и диагенетические рудные залежи в месторождениях данной группы часто накладываются более поздние, эпигенетические концентрации урана. Особенно широко развит этот процесс в урано-угольных месторождениях и месторождениях, связанных с асфальтитами, образование которых происходит при эрозии угленосных и нефтеносных отложений [5, 12, 23, 38, 39].

Для некоторых месторождений решающая роль в образовании промышленных концентраций урана принадлежит стадии эпигенеза.

Эпигенез осадочных пород, как известно, может протекать различно. В прогибающихся областях земной коры важнейшими факторами эпигенеза являются непрерывно возрастающие с глубиной температура и давление. Такой тип эпигенеза, приводящий к метагенезу — частичному изменению осадочных пород и в конечном итоге к преобразованию их в породы метаморфические, Л. Б. Рухин [29] предложил назвать прогрессивным. В условиях прогрессивного эпигенеза происходит регенерация значительной части обломочных зерен, раскристаллизация цемента и возникновение всевозможных новообразований.

Из работ Л. В. Пустовалова и других авторов [25, 26, 15, 16, 17, 32] известно, что в изменяющихся осадочных породах образуются полевые шпаты, различные магнезиальные силикаты, сульфиды различных металлов, а также многие другие минералы.

В процессе прогрессивного эпигенеза осуществляется перекристаллизация составных частей осадочных пород. Изменение обломочной части начинается обычно с регенерации отдельных зерен кварца и полевых шпатов и завершается образованием слоистых мозаично-регенерационных структур. Глинистый цемент обломочных пород постепенно переходит в серицитовый и хлоритовый, а при более глубокой степени метаморфизации — в слюдисто-роговообманковый. Карбонатные породы, в частности органогенные, органогенно-шламовые и оолитовые известняки, при перекристаллизации полностью утрачивают свою первичную структуру и переходят в мраморы.

Изменения различных типов осадочных пород, связанные с развитием прогрессивного эпигенеза по мере их погружения и воздействия возрастающих температур и давлений, становятся столь существенными, что они в конечном итоге приобретают характерные черты пород метаморфических.

При этом многие рудные минералы, в том числе и урановые, ранее находившиеся в состоянии большего или меньшего рассеяния, претерпевают перераспределение, обычно, в пределах того же стратиграфического горизонта. При их отложении в трещиноватых участках пород формируются прожилковые текстуры, напоминающие гидротермальные жилы. Такие месторождения на разных стадиях их образования и изменения вмещающих пород получают наименование осадочно-метаморфогенных и псевдогидротермальных [6, 12].

От типично гидротермальных последние отличаются в основном тем, что здесь образование рудных жил протекает без притока вещества извне, за счет мобилизации его из той же толщи измененных пород, в пределах которой они находятся (рис. 9).

А. А. Сауков в одной из своих последних работ [32], объясняя формирование подобного типа рудных залежей, указывает, что миграция урана и других элементов в процессе диагенеза и метаморфизма вмещающих пород протекает под влиянием вод, высвободившихся как в процессе литификации осадка, так и при метаморфизации осадочных пород.

Учитывая, что эти процессы ведут не только к изменению ранее созданных месторождений, но и к образованию нового вида рудных концентраций, очень близких по морфологии к гидротермальным жилам, но отличающихся по источнику урана, следует согласиться с мнением А. А. Якжина [43] и других

авторов [18, 35] и сохранить в классификации термин «метаморфогенные месторождения», выделив их псевдогидротермальную разновидность (рис. 9).

Весьма существенные изменения могут претерпевать осадочные породы и заключенные в них полезные ископаемые также и в том случае, если они после своего образования не попадают в зону метаморфизма, а вследствие тектонических процессов и эрозии приближаются к дневной поверхности и становятся ареной активной геохимической деятельности пластовых вод. При этом существенное влияние на миграцию соединений урана оказывают растворенные в природных водах газы и в первую очередь — свободный кислород, переводящий четырехвалентные, наиболее труднорастворимые его формы в шестивалентные. Последние, как уже отмечалось выше, в наиболее распространенных слабо щелочных и слабо кислых (рН от 6 до 9) природных водах легко мигрируют.

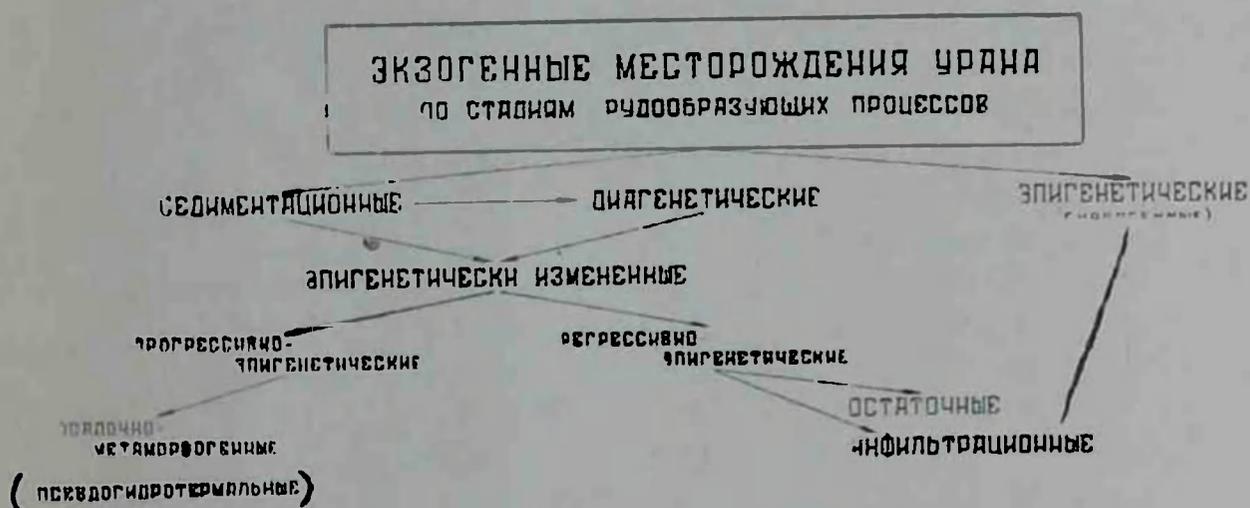


Рис. 9. Генетические типы экзогенных месторождений урана.

Естественно, что в разнообразных по составу рудовмещающих породах условия и масштабы миграции урана весьма различны. Это отчетливо видно на примере изучения ураноносных карбонатных отложений, урано-угольных месторождений, ураноносных битуминозных пород, терригенных толщ с растительной органикой, концентрирующей соединения урана, и на ряде других примеров. Своеобразие этих процессов в различных по составу вмещающих породах с достаточной детальностью еще не выявлено; вместе с тем их роль в изменении или разрушении собственно осадочных (седиментационно-диагенетических) рудных залежей, с одной стороны, и в образовании инфильтрационных эпигенетических рудных тел — с другой, весьма велика.

Вторичные изменения такого рода, связанные с воздыманием данного участка земной коры и активной геохимической деятельностью пластовых вод, получили наименование ре-

грессивного эпигенеза [29]. Они предшествуют процессам поверхностного выветривания — гипергенеза и тесно с ними связаны.

Непосредственное поверхностное выветривание — гипергенез — в различных типах рудовмещающих пород проявляется по-разному. Эта стадия изменения пород, как известно [24], протекает своеобразно в различных климатических обстановках, определяющих различную интенсивность миграции и особенности концентрации многих химических элементов, в том числе и урана.

В условиях сухого и жаркого климата в зоне окисления или в коре выветривания месторождений первичные рудные минералы урана (урановые черни и смолки) преобразуются в иные минеральные формы — сульфаты, карбонаты и ванадаты урана. Подобные рудные скопления могут быть отнесены к группе своеобразных остаточных месторождений или месторождений коры выветривания и зоны окисления. В них концентрируется обычно небольшая часть того урана, который вместе с вмещающими породами вскрывается зоной поверхностного выветривания. Более значительная его часть, благодаря активному воздействию обогащенных кислородом и углекислотой поверхностных и пластовых вод, или выносится в область поверхностного речного стока и, таким образом, рассенваается или, перемещаясь вниз по падению пластов, концентрируется в форме вторичных инфильтрационных рудных залежей. Последние возникают при резком изменении геохимических условий — переходе зоны окисления в зону цементации и могут рассматриваться как перемещенные в процессе инфильтрации. Эти рудные залежи обычно отличаются пестротой минерального состава и резкой неравномерностью распределения урановых минералов в пределах рудных тел. Такие черты характерны для зоны окисления различных групп месторождений урана, вместе с тем их своеобразие в разных типах вмещающих пород обусловлено как составом, так и физико-механическими свойствами последних [8].

Своеобразные процессы концентрации урана протекают в условиях аридного климата на обширных территориях пустынь и полупустынь [24, 31]. Они обусловлены явлением инсоляции, представляют чисто геохимический интерес и не заслуживают пока внимания с точки зрения промышленного использования.

В заключение рассмотрим еще одну группу месторождений, которая в последние годы приобрела существенный практический интерес.

В краевых участках платформ и межгорных впадин значительным распространением пользуются рудные залежи, приуроченные к осадочным и эффузивно-осадочным толщам полого падающих моноклиналиных структур. Они формируют-

ся либо за счет первично рассеянных урановых концентраций, возникших в осадках древних бассейнов, либо за счет поступающих извне в толщу осадочных пород природных вод с повышенными кларками урана. Так или иначе формирование таких промышленных залежей обязано деятельности пластовых вод, в связи с чем их следует относить к группе гидрогенных (по А. Е. Ферсману, 1934 г. [36]).

Формирование таких гидрогенных эпигенетических рудных залежей в ранее образовавшихся и в той или иной степени дислоцированных толщах пород происходит в наиболее пористых водоносных горизонтах, разделенных водоупорными. Они располагаются в участках пласта, характеризующихся сменой окислительных условий восстановительными, что сейчас же отражается и на цвете вмещающих пород. Рудные тела в них приобретают весьма типичную серповидную или мешковидную форму («роллы»), описанную в ряде месторождений США и Советского Союза [5, 40].

Гидрогенные рудные залежи нередко бывают связаны с асфальтитсодержащими пластами вскрытых эрозией нефтеносных структур и угольными месторождениями. При наиболее благоприятном сочетании условий, способствующих длительной концентрации урана из инфильтрационных вод, обогащенных ураном, могут образовываться месторождения с весьма крупными запасами [20, 46].

Таковы в основных чертах особенности экзогенного уранового рудообразования. Приведенный выше краткий обзор показывает, что высокая геохимическая подвижность природных соединений урана обуславливает большое разнообразие его экзогенных месторождений. Предлагаемая их классификация (рис. 10) основана на тех же принципах, что и большинство ей предшествующих, но вместе с тем она отражает те стадии рудообразующего процесса, которые были решающими в образовании промышленных урановых концентраций, для каждой из выделенных групп месторождений и их отдельных разновидностей.

В отличие от ранее предложенных классификаций, данная схема (рис. 10) рассматривает осадочный рудный процесс в его развитии, в соответствии со стадиями изменения вмещающих пород. Другой отличительной особенностью схемы является выделение очень важной и перспективной в практическом отношении группы гидрогенных месторождений. По строению и условиям формирования гидрогенные рудные залежи мало чем отличаются от инфильтрационных. Основное различие между ними заключается в источнике урана. Если инфильтрационные залежи образуются при перемещении рудного материала зоны окисления первичных, в том числе возможно и весьма убогих урановых руд, то гидрогенные могут возникать в изначально практически необогащенных ураном

Группы месторождений	УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И СОСТАВ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД	Стадии процесса рудообразования			
		Сидиментогенез	Диagenез	Эпигенез прогрессивный регрессивный	Гипергенез
выветри- ландия	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Остаточные</li> <li>2. Инфильтрационные</li> <li>3. Инсоляционные</li> </ol>				
осадочно- гидрогенные	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) в отложениях, содержащих окисленные пириты и асфальтиты</li> <li>2) в угленосных отложениях</li> <li>3) в терригенных толщах с обуглившимся растительным детритом и другими восстановителями</li> </ol>				
СОБСТВЕННО ОСАДОЧНЫЕ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Контиентального происхождения: <ol style="list-style-type: none"> <li>1) в аллювиальных россыпях</li> <li>2) в конгломератах с оруденением в гальках, а также в цементе с органическим веществом</li> <li>3) в гравелистах и песчаниках с обуглившимся растительным детритом</li> <li>4) в глинах и мергелях с дисперсным органическим веществом</li> <li>5) в торфяниках</li> <li>6) в углях</li> </ol> </li> <li>2 Морского происхождения: <ol style="list-style-type: none"> <li>1) в прибрежно-морских россыпях</li> <li>2) в цементе песчаников и алевролитов с органическим веществом</li> <li>3) в карбонатных породах-известняках и доломитах с органическим веществом</li> <li>4) в песчаниках и алевролитах с фосфатно-железистым цементом</li> <li>5) в фосфоритах</li> <li>6) в глинах с остатками ихтиофауны</li> <li>7) в битуминозных сланцевых глинах</li> </ol> </li> </ol>				
осадочно- -мета- морфогенные	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) в метаморфизованных конгломератах</li> <li>2) в углисто-глинистых, кремнистых сланцах, аргиллитах, мраморах и других типах метаморфических пород</li> </ol>				

Рис. 10. Классификация экзогенных месторождений урана.

породах. Они обязаны своим формированием деятельности пластовых вод, обогащенных соединениями урана за счет его выноса из магматических или более древних осадочных пород, в условиях аридного климата [24, 47]. Классификации месторождений такого типа главным образом и посвящена одна из последних работ японского геолога Нубуо Катаяма [47].

Придавая большое значение выводам этого исследователя, нельзя не видеть того, что в его представлениях явно недооценивается общая роль осадочного рудного процесса. Н. Катаяма свое внимание акцентирует на рассмотрении более поздних эпигенетических явлений, связанных с деятельностью пластовых вод в континентальных осадочных толщах. Огромные запасы урана, сосредоточенные в морских формациях, автор полностью исключает из рассмотрения. Выпадает практически из классификации Н. Катаяма и мало еще изученная, но, по-видимому, весьма перспективная метаморфогенная группа урановых месторождений. Все это сужает возможности поисков и задачи изучения экзогенных месторождений урана.

В предлагаемой классификации эпигенетическое перераспределение урановых минералов рассматривается как одна из стадий рудообразующего процесса. Представляется, что такой подход поможет полнее оценить все многообразие экзогенных месторождений, что в свою очередь будет способствовать выявлению новых рудных залежей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. БЕТЕХТИНА А. Г. и др. Курс месторождений полезных ископаемых. Гостоптехиздат, 1946.
2. БЕТЕХТИН А. Г. Об экзогенных процессах образования урановых месторождений, «Геология рудных месторождений», № 6, 1959.
3. БОК И. И. О генетической классификации месторождений полезных ископаемых поверхностного происхождения. Сборник научных трудов. Казахский Горнометаллургический институт. «Геология», № 18, 1959.
4. ВОЛЬФСОН Ф. И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. Изд. АН СССР, 1953.
- 5) GERMANOV A. I. Основные черты гидрогеохимических условий формирования некоторых инфильтрационных месторождений урана. «Известия АН СССР», сер. геол., № 8, 1960.
6. ГЕЦЕВА О. В. К характеристике осадочно-метаморфогенного типа уранового оруденения. В кн. «Вопросы геологии урана». Атомиздат. 1957.
7. ГОТМАН Я. Д. Осадочные месторождения. Статья в сборнике «Геология, поиски и разведка месторождений урана». Часть I. Госгеолиздат, 1955.

8. ДАНЧЕВ В. И. и ОЛЬХА В. В. О некоторых вопросах генезиса уранового оруденения в связи с изучением эффективной пористости рудосодержащих карбонатных пород. «Известия АН СССР», сер. геол., № 7, 1959.
9. ДАНЧЕВ В. И., КОРНИЛОВ А. М. и др. Об урановом оруденении в карбонатных осадочных породах. «Геология рудных месторождений», № 6, 1959.
10. ДАНЧЕВ В. И. Основные принципы классификации экзогенных месторождений урана. «Известия АН СССР», сер. геол., № 7, 1961.
11. ДОМАРЕВ В. С. Геология урановых месторождений капиталистических стран. Госгеолтехиздат, 1956.
12. ЗУБОВ А. И. Урансодержащие твердые битумы. «Геология рудных месторождений», № 5, 1960.
13. КАРПЕНКО В. С. Явления метаморфизма урановых руд. В кн. «Вопросы геологии урана». Атомиздат, 1957.
14. КЕРР П. Ф. Месторождения урана и тория. В кн. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, М., 1956.
15. КОПЕЛИОВИЧ А. В., КОССОВСКАЯ А. Г., ШУТОВ В. Д. О некоторых особенностях эпигенеза терригенных отложений платформенных и геосинклинальных областей. «Известия АН СССР», сер. геол., № 6, 1961.
16. КОССОВСКАЯ А. Г., ШУТОВ В. Д. Зональность изменения пород при эпигенезе и начальном метаморфизме в условиях геосинклинальной зоны. В кн. «Вопросы минералогии осадочных образований», кн. 3—4, Львов, 1956.
17. КОССОВСКАЯ А. Г., ЛОГВИНЕНКО Н. В., ШУТОВ В. Д. Стадии формирования и изменения терригенных пород. ДАН СССР, т. 116, № 2, 1957.
18. КОТЛЯР В. Н. Геология месторождений урана. Госгеолтехиздат, 1961.
19. ЛИБЕНБЕРГ У. Условия залегания и теория происхождения урановых минералов и золота в рудах Витватерсранда. В кн. «Геология атомного сырья». Избранные доклады иностранных ученых на Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Атомиздат, 1959.
20. Материалы международной конференции по мирному использованию атомной энергии, том 6. Геология урана и тория. Госгеолтехиздат, М., 1958.
21. МЕЛКОВ В. Г. и ПУХАЛЬСКИЙ Л. Ч. Поиски месторождений урана. Госгеолтехиздат, М., 1957.
22. Микроэлементы в жизни растений и животных. Изд. АН СССР, 1952.
23. НЕКРАСОВА З. А. К вопросу о генезисе уранового оруденения в углях. В кн. «Вопросы геологии урана». Атомиздат, 1957.
24. ПЕРЕЛЬМАН А. И. Геохимия ландшафта. Географиздат, М., 1961.
25. ПУСТОВАЛОВ Л. В. Вторичные изменения осадочных горных пород и их геологическое значение. Труды Геологического института АН СССР, вып. 5, 1956.
26. ПУСТОВАЛОВ Л. В. Некоторые новые данные о месторождениях полезных ископаемых осадочного и осадочно-метаморфического происхождения. В кн. «Очерки по металлогении осадочных пород». Изд. АН СССР, 1961.
27. РОЖКОВА Е. В., СЕРЕБРЯКОВА М. Б. Возможная роль сорбции в образовании ореолов рассеяния. «Советская геология», № 4, 1958.
28. РОЖКОВА Е. В., РАЗУМНАЯ Е. Г., СЕРЕБРЯКОВА М. Б., ЩЕРБАК О. В. Роль сорбции в концентрации урана в осадочных породах. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Доклады советских ученых. Атомиздат, 1959.
29. РУХИН Л. Б. Основы литологии. Гостоптехиздат, 1961.
30. САПОЖНИКОВ Д. Г. Задачи изучения осадочного рудного процесса. «Вестник АН СССР», № 12, 1955.

31. САУКОВ А. А. и ПЕРЕЛЬМАН А. И. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. «Записки Всес. минер. об-ва», часть 86, № 2, 1957.
32. САУКОВ А. А. Радиоактивные элементы Земли. Госатомиздат, Москва, 1961.
33. СЕРДЮЧЕНКО Д. П., ДОБРОВОЛЬСКАЯ Л. В. О некоторых минеральных новообразованиях в осадочных породах. Докл. АН СССР, т. 69, № 3, 1949.
34. СУРАЖСКИЙ Д. Я. Генетические типы промышленных месторождений урана. «Атомная энергия», № 2, 1956.
35. СУРАЖСКИЙ Д. Я. Методы поисков и разведки месторождений урана. Атомиздат, 1960.
36. ФЕРСМАН А. Е. Геохимия. Том I, ОНТИ, 1934.
37. ФИШЕР Р. П. Урано-ванадиево-медные месторождения в районе плато Колорадо. В кн. «Геология атомных сырьевых материалов», Госгеолтехиздат, М., 1956.
38. ХЕЙЛ В. И., МАЙЕРС А. П., ХОРР Ц. А. Уран в асфальтсодержащих породах. В кн. «Мирное использование атомной энергии». Материалы международной конференции в Женеве, том 6, 1958.
39. ХОЛОДОВ В. Н., ЛИСИЦИН А. К. и др. Об эпигенетической зональности уранового оруденения в нефтеносных карбонатных породах. «Известия АН СССР», сер. геол., № 11, 1961.
40. ШОУ Д. Р. Рудные «роллы» в Колорадо. В кн. «Материалы международной конференции по мирному использованию атомной энергии», том 6 — Геология урана и тория. Москва, 1958.
41. ЩЕРБИНА В. В. Геохимия редких элементов. Госгеолиздат, 1946.
42. ЩЕРБИНА В. В. Поведение урана и тория в условиях сульфатно-карбонатной и фосфатной среды зоны гипергенеза. «Геохимия», № 6, 1957.
43. ЯКЖИН А. А. Поиски и разведка урановых месторождений. Госгеол-издат, 1961.
44. BOWIE S, H. U., ATKIN D. An Unusualls Radioactive Fossil Fish from Thurso, Scotland, Nature, 177, № 4506, 1956.
45. DERRY DUNCAN R. Evidense of the origin of the Blind River uranium deposits. Econ Geol., v. 55, №. 5, 1960.
46. GRANGER H. C., SANTOS E. S., DEAN B. G. and Moore F. B. Sandstone — Type Uranium Deposits at Ambrosia Lake New Mexico. Econ. Geol. vol. 56, №. 7, 1961.
47. Report of the Twenty-First session Norden. Part. XV, 1960, Int. Geol. Congress, Kопengagen, 1960.

### ГЛАВА III

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ИЗУЧЕНИИ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

Большое разнообразие экзогенных месторождений урана, приуроченных к различным типам осадочных образований, требует разностороннего комплексного подхода к их исследованиям. Главнейшие направления в изучении месторождений связаны:

1) с выяснением состава, условий образования и закономерностей пространственного размещения рудовмещающих пород — литологические исследования;

2) с определением минерального состава руд, изучением их парагенезисов, последовательности образования урановых, урансодержащих и сопутствующих минералов — минералогические исследования;

3) с характеристикой геохимических условий концентрации и рассеяния урана, образованием его промышленных скоплений на разных стадиях формирования рудовмещающих пород. Изучение подземных вод и их роли в формировании и разрушении экзогенных месторождений урана — геохимические и гидрогеологические исследования.

Комплекс перечисленных работ является основой для прогнозирования экзогенных месторождений урана и разработки поисково-разведочных и оценочных критериев.

### ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Различные полезные ископаемые, связанные с осадочными породами, существенно отличаются по условиям образования.

Одни из них формируются в начальную стадию осадочного процесса (в седиментогенезе), не подвергаясь значительному изменению в последующие стадии преобразования вмещающих пород. Сюда относятся минеральные россыпи, кварцевые пески и проч.

Другие — железо, марганец, уголь, — отложившись в стадию седиментогенеза, испытывают существенное влияние пос-

ледующих диагенетических процессов, меняющих качественную характеристику полезного ископаемого, придающих определенную форму рудным телам и т. д. При изучении и оценке перспектив этой группы полезных ископаемых основное внимание уделяется выяснению главным образом условий осадко-накопления вмещающих пород и особенностям их диагенетических преобразований. Последующие процессы изменения таких полезных ископаемых при прогрессивном эпигенезе и метаморфизме, с одной стороны, и регрессивном эпигенезе и гипергенезе — с другой, хотя и оказывают влияние на их качество, но не приводят к существенной миграции и переотложению. Поисковые критерии в этом случае основываются главным образом на палеогеографических данных и результатах литолого-фациальных исследований.

Иной подход требуется при изучении тех полезных ископаемых, залежи которых образуются в сформировавшихся толщах осадочных пород. Так, например, важнейшим поисковым признаком на нефть являются коллекторские свойства пород. Отсюда повышенный интерес геологов-нефтяников к той группе эпигенетических процессов, которые преобразуют первичную пористость, залечивая пустоты, меняя их конфигурацию, а иногда приводят к возникновению высокой вторичной пористости.

Геолога, занимающегося изучением урановых месторождений, одинаково интересуют все стадии формирования и бытия вмещающих пород и связанной с ними рудной минерализации. Объясняется это тем, что, как было показано выше (глава II), промышленные концентрации урана могут возникать на всех стадиях породообразования, а в пределах рудного поля месторождения можно встретить первичные рудные тела, сформировавшиеся в стадии седиментогенеза и диагенеза, наряду с промышленными эпигенетическими концентрациями. Чаще преобладают те или другие — в зависимости от типа месторождения.

Практика показала, что надежным ключом к пониманию всего многообразия рудообразующих процессов является одно из главнейших руководящих положений науки об осадочных породах — признание теснейших связей между осадочными полезными ископаемыми и вмещающими их горными породами. Эта связь проявляется на всех стадиях породо- и рудообразования: от стадии выветривания до стадии метаморфизма включительно.

Это положение важно потому, что до сих пор можно встретить стремление изучать и разведывать урановые месторождения в отрыве от вмещающих пород. По понятным причинам разведчики прежде всего интересуются скоплениями самого полезного ископаемого, иногда не обращая должного внимания на изменения вмещающих пород по мере изменения руд-

ных тел. Это приводит к тому совершенно ненормальному положению, когда по сути дела единственным поисковым критерием на уран считается наличие самого урана или, по крайней мере, его «признаков». А между тем надежной путеводной нитью при поисках на уран могут служить сами породы, первичные признаки которых оказываются более устойчивыми, по сравнению с сохранностью урановых концентраций, особенно на поверхностных выходах, где минералы урана могут быть легко выщелочены. Опыт показывает, что разработка надежных поисковых и поисково-оценочных критериев должна проводиться на основе детального изучения известных урановых месторождений методами палеогеографии, а также фацциального и фацциально-геохимического анализа.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СТАДИЙ ОСАДОЧНОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ

Процесс литогенеза — образования осадочных горных пород — подразделяется, как известно [12, 16, 17, 22, 23, 27], на ряд этапов: седиментогенез, диагенез и на более дробные стадии осадко- и породообразования (рис. 11).

**Первая стадия — разрушение материнских пород** протекает на континентах при воздействии поверхностных агентов выветривания — механического разрушения и химического разложения магматических, метаморфических и более древних осадочных горных пород. При этом мобилизуются и поступают в область осадконакопления огромные массы минеральных и органических веществ. В различных климатических условиях роль механических и химических агентов выветривания различна. В условиях гумидных зон превалирующая роль в выветривании принадлежит химическим и химико-биологическим процессам, в аридных условиях, при резком дефиците влаги, на первое место выступают процессы механического разрушения. Кроме климата, огромное значение в интенсивности процессов выветривания материнских пород, поставляющих материал в область седиментации, принадлежит рельефу или, вернее, тектоническому развитию земной коры, проявляющемуся через рельеф. В теоретической литологии долгое время дебатировался вопрос о том, какой из факторов является ведущим в осадочном процессе: тектонический, климатический или биогенный. Нет сомнения, что все они определяют условия формирования осадочных пород и оставляют свой неизгладимый след на разнообразных типах осадочных образований, однако ведущим фактором, подчиняющим себе как климатическую обстановку, так и особенности органической жизни, является тектоническое развитие Земли. Именно поэтому одной из основных закономерностей в строении осадочных толщ является периодичность осадкообразовательного процесса в истории

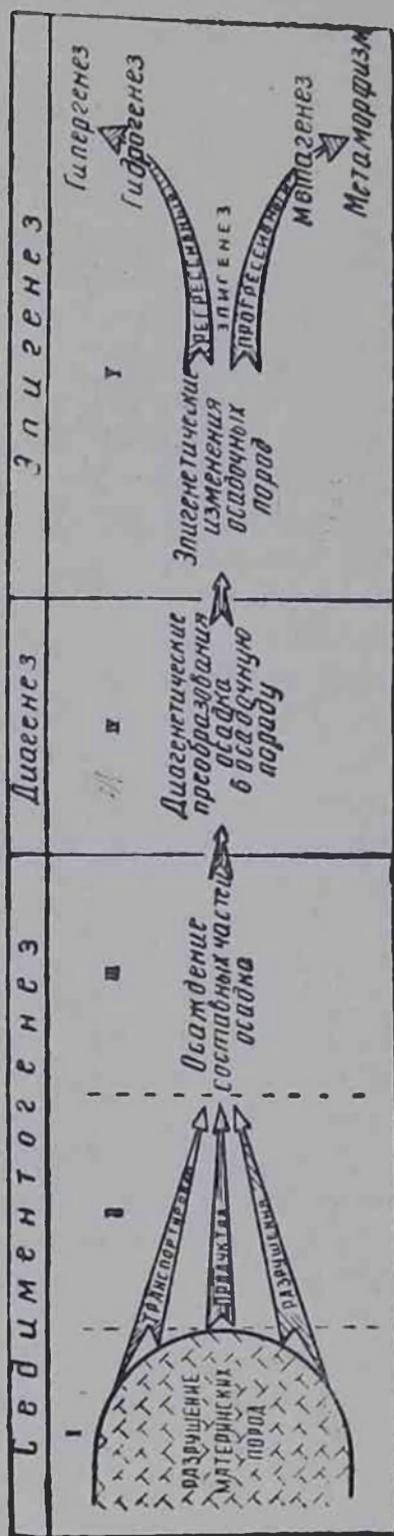


Рис. 11. Основные стадии осадочного породообразования.

Земли, отмечающая этапы ее тектонического развития [22]. Различия в климатических обстановках и условиях биологической жизни придавали специфические черты тем четырем типам литогенеза — ледниковому, гумидному, ариднему и эффузивно-осадочному, которые выдвигаются в настоящее время в качестве основных [22].

Вторая стадия — перенос или транспортировка продуктов разрушения обеспечивает перемещение обломков материнских пород и продуктов их химического разложения. Дальность переноса при этом может быть весьма различной. Чем дальше переносится обломочный материал, тем, естественно, лучше он окатывается, округляется. Здесь, однако, следует учитывать, что хорошо окатываются те обломки, которые имеют значительный размер и перемещаются перекачиванием по дну ручьев и рек. Мелкие обломки типа глинистых частичек или мелкого алеврита (менее 0,05 мм) обычно переносятся во взвешенном состоянии и в связи с этим практически не окатываются. Поэтому судить о дальности переноса можно только по форме частиц, больших, чем 0,05 мм. Транспортировка продуктов химического разложения материнских пород осуществляется как поверхностными, так и грунтовыми водами в состоянии истинных и коллоидных растворов на значительные расстояния, часто до впадения их в озерные или морские бассейны.

При разрушении кислых магматических пород — интрузивных и эффузивных — воды обогащаются соединениями натрия и калия, обуславливающими их щелочную реакцию. В этих условиях приобретают подвижность окислы кремния, переходят в состояние миграции соединения урана; так, коллоидные растворы гидроокиси урана —  $[\text{UO}_2(\text{OH})_2]$  устойчивы в интервале рН раствора от 5 до 8 [29]. При обилии в водах углекислоты в бикарбонатной форме мигрируют щелочноземельные металлы — кальций и магний. В этих же условиях легко подвижны комплексные соли уранила состава  $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ . Однако с потерей углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) происходит разрушение уранил-карбонатного комплекса и выпадение урана в форме средней соли уранила  $[\text{UO}_2\text{CO}_3]$  вместе с кальцитом или доломитом.

Третья стадия — осаждение обломочного материала происходит при ослаблении движущей силы переносящих его водных потоков или ветра. Так как ослабление водных потоков происходит обычно постепенно, по мере уменьшения угла наклона русла при выходе горных рек на равнину, то сначала осаждаются крупные обломки, затем средние, потом мелкие. Осуществляется, таким образом, дифференциация обломочного материала по крупности частиц. Аналогичное распределение обломков наблюдается в морских и озерных бассейнах, где ближе к берегу осаждаются крупные материал, принесенный

с суши, а чем дальше от берега, тем размеры обломков становятся все меньше и меньше. Следует также иметь в виду, что размещение обломочного материала в осадках озерных и морских бассейнов зависит в значительной степени от рельефа дна. В приподнятых участках рельефа накапливается более грубообломочный материал, в углублениях — преимущественно глинистый.

При переносе и осаждении обломочных частиц происходит также изменение степени их отсортированности. Наиболее хорошо отсортировываются обломки, переносимые ветром, спокойными равнинными реками, имеющими сравнительно постоянные скорости течения, морским прибоем и волнением, приливами и отливами, — так называемые пляжные пески. Обычно плохо отсортированы отложения временных потоков, стекающих с гор во время дождей, при таянии снегов, отложения ледниковых морен и некоторые другие.

Химически растворенные вещества также постепенно осаждаются из растворов, но время и место их осаждения зависят от многих причин: от концентрации растворов, встречи их с водами иного состава, от повышения или понижения температуры, давления, от изменения реакции среды. Последовательность их выпадения в осадках, так называемая химическая дифференциация вещества в процессе осадкообразования, впервые была сформулирована в работе Л. В. Пустовалова [16].

Хорошо известны факты осаждения карбоната кальция при выходе подземных источников на дневную поверхность, когда вследствие понижения давления из растворов уходит углекислота, что приводит к превращению растворенных в воде бикарбонатов кальция в очень мало растворимую среднюю соль.

Известны также процессы выпадения в осадок многих элементов, в том числе урана, при смене окислительной обстановки на восстановительную и т. д.

Коллоидные растворы, как правило, имеют меньшую длительность миграции, чем истинные. Их коагуляция может быть связана с различными причинами, из которых наибольшее значение имеют две: 1) коагуляция под влиянием электролитов и 2) взаимная коагуляция двух растворов, имеющих противоположные заряды. Коагуляция коллоидных растворов под влиянием электролитов наблюдается в весьма широких масштабах в прибрежных зонах морских бассейнов, где происходит смешивание вод, поступающих с континента, с морскими водами, содержащими значительное количество хорошо ионизированных соединений типа хлористого натрия. Поэтому среди прибрежно-морских осадков известны накопления бурых окислов железа, окислов марганца, достигающие иногда промышленного значения.

В результате процессов осаждения образуются осадки, состоящие из обломочного или химически осажденного материала, или из того и другого вместе.

Если осадкообразование происходит в морских или озерных условиях, то в осадок могут попадать различные органические остатки: скелеты рыб, раковины, растительные остатки. Последние обильны также в болотных и речных отложениях.

**Четвертая стадия** — диагенез охватывает период от накопления рыхлого осадка до превращения его в осадочную породу.

Эта стадия имеет различную длительность и протекает различно в разных типах осадков. Если первичный осадок представляет собой рыхлый кварцевый песок, то стадия диагенеза для него скажется в основном в потере воды и в цементации зерен кварца солями, находящимися в иловых водах. Если же в осадок выпали различные химические соединения, к тому же противоречивые по своему составу, то во время стадии диагенеза между ними будут происходить энергичные химические реакции. Так, например, если из воды выпадут коллоиды окислов железа, а в осадке находится органическое вещество, то неминуемо начнется реакция его окисления за счет окислов железа. При обилии органического вещества и продуктов его разложения при общем повышенном содержании  $H_2S$  образуются сульфиды железа — мельниквит, марказит, пирит, которые и будут свидетельствовать о резко восстановительной среде, имевшей место в осадке. При меньшем количестве органики и обилии  $CO_2$  образуется сидерит, который является частым компонентом глинистых осадочных пород; наконец, в условиях слабо восстановительной среды и наличии в осадке одновременно соединений железа и кремнезема может образоваться глауконит и т. п.

Осадки, состоящие из хемогенных продуктов или, как их называют, продуктов химической дифференциации, во время диагенеза претерпевают перекристаллизацию, теряют воду и значительно уплотняются под весом накаплиющихся выше них отложений. Известно, что скорость перекристаллизации минералов, входящих в состав осадка, тесно связана с удельным весом — наиболее легко перекристаллизовываются минералы высокого удельного веса. Поэтому сульфиды железа, например пирит, очень часто встречаются в виде хорошо образованных кубических кристаллов даже в пелитоморфных, почти неперекристаллизованных известняках. Встречаются в них также прекрасные кристаллы барита, целестина, гипса; этим объясняется и особенность структуры известково-доломитовых пород, в которых доломит, имеющий удельный вес больше кальция, всегда состоит из правильных ромбоэдрических кристаллов.

В период диагенеза происходят, кроме того, явления собирательной кристаллизации, вследствие чего образуются конкреции, состоящие из сидерита, халцедона, фосфорита и других минералов, а также сферолиты и оолиты [21]. В случае наличия в осадке рудных компонентов может происходить их концентрация. Известно, что соединения урана способны выполнять внутренние полости разлагающихся в иле организмов, замещать их раковины и образовывать небольшие сгустки, принимать участие в строении сферолитов и оолитов. В этот период уран может сорбироваться из иловых вод растительными остатками и образовывать урано-органические соединения. В результате всех процессов, протекающих в стадию диагенеза, рыхлый, насыщенный водой осадок постепенно превращается в осадочную породу. Судить о том, в каких условиях протекал диагенез, позволяют те химические компоненты пород, которые сформировались в этот период.

**Пятая стадия** — охватывающая всю дальнейшую жизнь осадочных пород, получившая название эпигенеза, может протекать различно. Во-первых, осадочные породы вследствие тектонических процессов и эрозии попадают в сферу активного воздействия пластовых вод и, наконец, могут быть выведены на дневную поверхность, с чем связано обычно их активное окисление и выветривание. Такой характер эпигенетических процессов по предложению Л. Б. Рухина [17], как уже отмечалось выше, получил название регрессивного. В конечном итоге в условиях регрессивного эпигенеза происходит полное разрушение породы. Во-вторых, при медленном прогибании данного участка земной коры, осадочные породы попадают под воздействие высоких температур и давлений глубин. Начальные стадии их изменения, получившие название метагенеза, сменяются последующими, приводящими к преобразованию осадочных пород в породы метаморфические. Такое направление эпигенетических изменений Л. Б. Рухин назвал прогрессивным. Несмотря на противоположность протекающих процессов и в том и в другом случае осадочные породы попадают в условия, отличающиеся от тех, какие господствовали в процессе их образования. Это неминуемо вызывает значительные изменения в их составе и структуре. Если, например, в область поверхностного выветривания вынесены глауконитовые пески, то они неизбежно будут окисляться, покрываясь бурыми окислами железа; быстро окисляются в этих условиях пирит, марказит, а также минералы урана. При поверхностном выветривании имеет место энергичный вынос малоустойчивых в условиях окисления минеральных комплексов и их инфильтрация в более глубокие зоны. Очень характерно для такого типа изменений образование каверн, карстовых полостей и трещин, в той или иной мере выполненных различными вторичными минералами.

При прогрессивном эпигенезе часто наблюдается дальнейшее уплотнение пород, их полная перекристаллизация, образование таких минералов, которые типичны для глубинных магматических или метаморфических пород — кристаллов полевых шпатов в известняках, рутила, турмалина, циркона и т. д. Весьма типично появление регенерационных каемок на обломочных зернах кварца, полевых шпатов, образование серицита, хлорита и, наконец, роговой обманки за счет преобразования в процессе метагенеза и метаморфизма глинистых минералов. В конечном итоге осадочные породы изменяются все сильнее и переходят в резко отличные по своему составу и структуре породы метаморфические.

Все вышесказанное показывает, что различные стадии формирования и жизни осадочной породы не проходят бесследно — каждая из них накладывает свой отпечаток на ее минеральный состав и структуру. При изучении осадочных пород по минеральному составу, структуре и другим особенностям мы стремимся воссоздать условия их образования.

При рассмотрении осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых по стадиям их образования и изменения гораздо разностороннее и глубже раскрываются особенности осадочного процесса, в том числе и важнейшие черты экзогенного уранового рудообразования.

Если признаки осадочных пород, связанные с предшествующей историей слагающих их минеральных и органических остатков, назвать унаследованными, особенности, приобретенные во время седиментогенеза и диагенеза, — первичными, а признаки, возникшие в ходе эпигенетических процессов в сформировавшейся породе, — вторичными, то можно сказать, что большинство первичных признаков фиксируется уже во время полевого изучения пород, а большинство унаследованных и вторичных — преимущественно во время последующего лабораторного исследования. Отсюда ясно значение и полевых, и лабораторных методов для определения условий образования осадочных пород.

Приемы, применяемые для восстановления условий формирования и преобразования пород, изложены в многочисленных руководствах и справочных пособиях, а также в работах, посвященных описанию отдельных видов осадочных полезных ископаемых. Главнейшие из этих работ указаны в конце настоящей главы.

#### МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИИ И ПРИЕМЫ ИХ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ

Установлено, что различные осадочные породы размещаются в пространстве вполне закономерно, образуя ряды фаций, последовательно и в определенном порядке сменяющих друг

друга в направлении от береговой линии вглубь бассейна осадконакопления.

Различные полезные ископаемые, в том числе скопления урановых руд, занимают определенные места в рамках фациальной зональности, отчетливо тяготея к каким-то определенным фациям или группам близких фаций, наиболее благоприятным для развития рудообразующих процессов.

Литологические исследования проводятся либо в процессе геологической съемки, либо самостоятельно с использованием уже имеющихся геологических карт разных масштабов. Содержание и задачи проводимых литологических наблюдений существенно меняются в зависимости от степени фациальной изменчивости и масштаба работ.

К литологическим наблюдениям предъявляются следующие основные требования:

1. Точная привязка пунктов наблюдения как на местности, так и в разрезе осадочной толщи.

2. Детальность литологических наблюдений должна быть достаточной для того, чтобы охватить все основные генетические типы отложений.

3. Литологические наблюдения должны содержать необходимые данные для выяснения условий отложения выделенных генетических типов пород.

4. Литологические наблюдения должны помочь установить положение областей сноса, а также их рельеф, климат и состав слагающих пород.

При литологической съемке мелкого масштаба (1 : 2 500 000), кроме обязательных наблюдений над мощностью и составом осадочных толщ, необходимо уяснить характер фациальных замещений различных типов разновозрастных отложений и на этом основании выяснить расположение древних областей сноса. Условия отложения осадочных толщ выясняются в данном случае при мелкомасштабном картировании в самом общем виде.

При съемках среднего масштаба (1 : 1 000 000 и 1 : 500 000), кроме наблюдений над наличием и характером косой слоистости, знаков ряби и волнения, следов струйчатости, борозд промыва и т. п., необходимо выяснить направление перемещения обломочного материала на основе замеров ориентировки указанных текстурных признаков пород. Проводятся наблюдения над ритмичностью и фиксируется распространение по площади некоторых геохимических признаков (пиритизация, лимонитизация, фосфатность, карбонатность) пород. Помимо положения областей сноса, выясняются контуры бассейна осадконакопления. Наблюдения проводятся только в опорных разрезах, число которых должно быть достаточным для общей характеристики условий отложения данных осадочных пород.

При литологической съемке крупного масштаба (1 : 200 000; 1 : 100 000 и крупнее) детальные наблюдения и измерения проводятся уже в каждом обнажении. Помимо использования естественных обнажений, часто производится некоторый объем горных работ (проходка канав, шурфов, скважин) для того, чтобы пункты наблюдений располагались по равномерной сетке и на территориях, перекрытых молодыми отложениями. Полевые литологические наблюдения обязательно дополняются лабораторными исследованиями (характеристика гранулометрического и минералогического состава, химическое определение содержания карбонатов, разных форм железа, органического углерода и т. п.). На основе детального выяснения условий образования разных типов отложений может быть вскрыта фациально-геохимическая зональность в строении осадочной толщи.

После того, как намечен конкретный район работ и определены главные задачи литологических исследований, необходимо проведение некоторых предварительных работ для того, чтобы правильно спланировать все последующие этапы исследования. Намечается несколько рекогносцировочных маршрутов, пересекающих район в разных направлениях. Задача рекогносцировочных работ — наметить опорные разрезы и выбрать направления профилей. Опорные разрезы и профили должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы они располагались по линиям, идущим от древней береговой полосы к центральным частям ископаемого бассейна или поперек древних котловин, где накапливались континентальные отложения. Такое расположение разрезов и профилей целесообразно потому, что именно в указанных направлениях наиболее четко проявляются признаки фациальных изменений и замещений.

После этого приступают к описанию намеченных разрезов. Описание может проводиться одновременно в ряде пунктов разными исследователями. В этом случае необходимо, чтобы работы проводились по единой унифицированной программе с тем, чтобы максимально облегчить последующую обработку, сопоставление и обобщение полученных материалов.

Можно рекомендовать следующую схему описания разрезов:

**1. Отмечается порядковый номер пласта и его мощность.**

**2. Определение названия породы.** Для обломочных пород название дается по структурным признакам, главным образом по крупности обломков.

Для хемогенных и органогенных пород название дается по их вещественному составу.

**3. Окраска пород.** Отмечается цвет пород во влажном и сухом состоянии; желательно определение цвета по таблицам В. Оствальда или Л. В. Пустовалова [16], но обязательно отнесение к одному из основных цветов (коричневый, красный,

гранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, серый, черный, фиолетовый и белый) с указанием оттенка. Описывается характер распределения окраски в породе: равномерное, полосчатое, пятнистое.

4. **Описание нестойких признаков.** Запах сероводородный, нефтяной и т. д. Жидкие включения и их расположение: по трещинам, в кавернах, пропитка и т. п. Окисляющиеся соединения, текстурные и другие признаки, видимые лишь в свежем изломе. Различная влажность пород.

5. **Вещественный состав породы.** Производится определение минералогического и петрографического состава породы и слагающих ее частиц, главным образом визуальное с обязательным применением простейших средств исследования: соляной кислоты, ножа, стальной и медной иглы, лупы и пр.

6. **Конкреции и органические остатки.** Отмечается характер взаимоотношений конкреций с вмещающими породами: размеры, ориентировка и количество конкреций, их форма; остатки флоры и фауны; характер их сохранности, размеры, ориентировка, количество; взаимоотношения с вмещающей толщей.

7. **Характеристика цемента породы.** Состав цемента: известковистый, глинистый и др.; его структура, зернистость, кристалличность; количество цемента от общей массы породы. Цементированность: крепкая (разбивается молотком с трудом), средняя (разбивается молотком легко), слабая (ломается руками), без цемента (сыпучие, легко растираются пальцами).

8. **Структурные и текстурные признаки породы.** Для обломочных пород: форма и степень окатанности частиц (угловатые, окатанные, полуокатанные). Степень отсортированности обломочных частиц. Характер поверхности частиц (корродированная, шероховатая, гладкая, полированная). Расположение частиц в породе: ориентированное, беспорядочное.

Слоистость: отчетливая, неясная, горизонтальная, косая, сложная, ленточная. Морфологические типы слоистости: массивная — мощность 50 и более см; толстослоистая — мощность 50—10 см; среднеслоистая или плитчатая — мощность 10—2 см; тонкослоистая или листоватая — мощность отдельных слоев от 2 до 0,2 см.

Обязательно отмечать: характер нижней и верхней границ пласта (контакт с размывом, резкий, отчетливый, условный, постепенный переход). Определяется направление борозд промыва, ориентировка гребней волно-прибойных знаков и азимут падения слойков в косых сериях.

Фиксировать признаки ритмичности в чередовании отложенных различных типов. Проводится сопоставление характерных (маркирующих) пластов по близлежащим обнажениям и скважинам и определение их изменчивости в пространстве.

9. Прочие важные признаки. Отдельность: пластовая, столбчатая, скорлуповатая и др. Излом: гладкий, землистый, раковистый, занозистый и др. Пористость и трещиноватость. Хрупкость, мягкость, пластичность, жирность. Способность набухать, размокать, растворяться. Выветрелость породы и ее составных частей. Вкус — для галогенных пород.

10. Определение условий образования пород. На основании всех наблюдений высказывается предварительное суждение о фациальной принадлежности породы.

11. Определение радиоактивных свойств пород. Приводится характеристика породы, определенная с помощью полевого радиометра.

Образцы берутся по возможности из каждого слоя, а в тех случаях, когда мощность слоя велика, образцы отбираются обычно из нижней, средней и верхней его части.

Учитывая, что поверхностные выходы пород всегда сильно выветрены в результате действия атмосферных агентов, необходимо проводить расчистку обнажений. Не всегда геологическим молотком можно отбить достаточно свежий образец. Поэтому при работе с крепко сцементированными породами применяются зубила и кувалды. Если породы мягкие, для отбора образцов отрываются закопуши глубиной до 0,5 м и более. Несмотря на все эти предупредительные меры, образцы, взятые на поверхностных выходах, конечно, всегда несут многочисленные свидетельства всевозможных вторичных изменений. Однако, благодаря принятым мерам, удается получить образцы, в которых сохранились в малоизмененном виде многие первичные признаки, по которым можно судить об условиях образования изучаемых отложений.

При работе с керном скважин возникают свои специфические затруднения: иногда имеет место низкий процент выхода керна, трудность получения ориентированного керна для замеров ориентировки галек, косых слоек и т. п. с целью использования этих данных для палеодинамических построений, наконец, невозможность последовательно проследить фациальные изменения на участках между скважинами, как это делается при изучении естественных обнажений, если район отличается хорошей обнаженностью.

В таких случаях бывает полезно изучить разрезы отложений в соседних районах, непосредственно примыкающих к разбуриваемому участку. Для того, чтобы как-то судить о литологическом составе тех интервалов, где керн отсутствует, можно использовать данные электрического каротажа. Методика геологической интерпретации каротажных кривых достаточно подробно разработана нефтяниками.

При работе в подземных горных выработках наиболее рационально проведение круглогодичных наблюдений по мере продвижения фронта проходческих работ. Трудность состоит

в том, что выработки проходятся главным образом по рудному телу, а вмещающие породы оказываются в значительной мере мало доступными для изучения. Поэтому особое значение приобретает изучение всевозможных квершлаговых выработок, зумпфов, шахтных стволов, если они частично или полностью пройдены без крепления и т. п.

Полевое описание пород должно дополняться изучением шлифов под микроскопом. Известны примеры такой организации литологических исследований, при которых изготовление шлифов было налажено непосредственно в районе полевых работ. Целесообразность такой постановки дела очевидна. В процессе предварительной обработки материала всегда возникают многочисленные вопросы, которые можно решить только на обнажении, например, провести дополнительное опробование, уточнить наблюдения над текстурными особенностями пород и т. п.

Изучение осадочных пород под микроскопом позволяет более точно установить их минеральный состав и структуру, чем при полевом макроскопическом наблюдении. Особенно это важно для мелкозернистых пород, точное определение которых без микроскопа весьма затруднительно. Микроскопическое изучение чаще всего производится в прозрачных шлифах нормальной толщины (0,03 мм); для определения отдельных зерен рудных минералов, непрозрачного цемента, а также для определения железистых, марганцевых и других непрозрачных пород применяется отраженный свет.

Для различения доломитов и известняков, или выявления тонкой структуры доломитизации известковистых пород, часто применяют непокрытые шлифы, которые после прокрашивания соответствующими реактивами (азотно-кислым серебром и хромово-кислым калием, треххлорным железом и др.) можно исследовать под микроскопом, не закрывая покровными стеклами. Лучше, однако, для более удобного наблюдения смазывать верхнюю поверхность шлифа иммерсионным маслом, а при необходимости сохранить результаты проведенной микрохимической реакции на длительное время — наложить на шлифы покровное стекло.

При микроскопическом изучении осадочных пород, определении их минерального состава и структуры следует обращать внимание на такие их особенности, которые позволяют в конечном итоге составить представление об условиях их образования. При этом необходимо накапливать данные о составе источников минерального питания, за счет разрушения которых образовалась данная порода, об особенностях транспортирующей среды, обеспечившей накопление составных частей осадка, о тех геохимических процессах, которые протекают как при преобразовании осадка в породу, так и в уже сформировавшихся толщах осадочных горных пород.

Задача исследователя сводится к тому, чтобы в процессе полевых наблюдений и с помощью разнообразных методов камерально-лабораторного исследования, в том числе и с помощью микроскопа, расшифровать шаг за шагом всю историю образования данной осадочной породы. Особенно это важно при изучении месторождений полезных ископаемых, в том числе экзогенных месторождений урана, образование которых происходит на разных стадиях формирования рудовмещающих осадочных пород.

При изучении осадочных пород под микроскопом в них выделяются обычно следующие составные части:

1. Обломочная или кластическая часть, представляющая собой обломки горных пород и минералов, принесенных с суши. Их детальное изучение и определение под микроскопом позволяет судить о составе тех коренных пород, которые размывались на суше. Так, например, совместное нахождение обломков кварца, калиевых полевых шпатов, кислых плагиоклазов и слюд говорит о том, что источники сноса слагались гранитами; обилие хлорита, серицита, слюд и обломков кремнево-халцедоновых пород говорит о размыве метаморфических сланцев и т. д.

Следует иметь в виду, что иногда в составе кластической части присутствуют и обломки различных осадочных пород — известняков, доломитов, мергелей, глин, а также вулканический (пирогенный) материал.

Степень окатанности и отсортированности обломочного материала тем лучше, чем дальше он перенесен от области разрушения материнских пород.

2. Сингенетическая и диагенетическая (или аутигенная) часть, состоящая из различных хемогенных продуктов, выпавших в осадок из покрывающей его воды, а также из продуктов химических реакций, протекавших в осадке в период диагенеза. Эти химические соединения или слагают основную массу породы (известняки, доломиты и др.), или играют роль цемента для обломочного материала, например, сингенетичный кальцитовый цемент в песчаниках и алевролитах. Иногда же они присутствуют в очень небольшом количестве — кристаллы пирита, марказита и др. минералов. Состав сингенетичной части пород позволяет восстанавливать условия накопления осадка и особенности периода диагенеза. Так, например, наличие сингенетичного кальцита позволяет говорить о том, что накопление осадка происходило в условиях теплого морского бассейна с нормальной соленостью (около 3,5% содержания солей). Доломитовый цемент указывает на несколько повышенную соленость, гипсовый и ангидритовый — на условия осолоняющейся лагуны.

Наличие среди сингенетичной части таких минералов как сидерит, глауконит, пирит, марказит указывает на то, что в

осадке господствовала восстановительная среда, присутствие окислов железа и марганца указывает на окислительную обстановку и т. д. Поскольку для формирования промышленных концентраций многих осадочных полезных ископаемых характер среды имеет решающее значение, то отсюда следует, что выявление и изучение сингенетичной части осадочных пород является весьма важной задачей.

3. Органогенная часть осадочных пород представлена обычно остатками различных растений и животных, накопившихся вместе с другими составными частями осадка. Изучение органической части может дать дополнительные сведения об условиях отложения осадков. Так, известно, что древесные растительные остатки в значительных количествах накапливаются обычно в пресноводных водоемах или в самых прибрежных опресненных участках морских бассейнов; такие организмы, как гастроподы, легко переносят опреснение и поэтому обильны также в прибрежных участках моря; фузулины и некоторые другие виды фораминифер, наоборот, являются так называемыми стеногалинными формами и развиваются только в условиях нормальной солености и т. д. Таким образом, на состав флоры и фауны необходимо всегда обращать большое внимание.

Очень важно также отмечать степень сохранности фаунистических остатков: в прибрежных условиях, в зоне волнения и прибоя, раковины умерших организмов подвергаются перитиранию и поэтому отличаются плохой сохранностью и образуют так называемый раковинный детрит; в более глубоководных спокойных условиях раковинные остатки, даже самые тонкие, могут оставаться в хорошем состоянии.

4. К эпигенетической части относятся все те новообразования, которые возникли в уже сформировавшейся осадочной породе. В случае регрессивного эпигенеза примерами таких образований могут являться пленки бурых окислов железа, возникающие при окислении его первичных закисных соединений, вторичный кальцит, образующийся при разрушении доломита, вторичное загипсование (селенит), часто наблюдающееся в породах по тонким трещинкам. Карбонатные породы при выветривании приобретают повышенную пористость, кавернозность. Кристаллы вторичных минералов (кальцита и других) часто образуются внутри пор и каверн.

При прогрессивном эпигенезе, наоборот, повышается плотность пород, зерна сближаются между собой, часто даже срастаются (обычно для кварца); при этом возникают многочисленные новообразования минералов.

Главные составные части пород могут иметь разное количественное значение и в зависимости от этого меняется классификационное положение породы. Если преобладает по количеству обломочная часть (более чем 50% породы), то син-

генетичные выделения играют обычно роль цемента. Порода в этом случае относится к группе обломочных и получает соответствующее название по размеру преобладающих в ней обломков — глина, алевролит, песчаник, гравелит и т. д.

Если основной составной частью породы являются хемогенные компоненты, то она относится к продуктам химической дифференциации, а имеющиеся обломки рассматриваются как примесь к хемогенным компонентам. Такой характер имеют, например, песчанистые или алевролитовые известняки, доломиты, гипсы и другие хемогенные породы.

В том случае, если осадочная порода в своей большей части слагается органическими остатками, то ее следует относить к группе органогенных или органогенно-шламмовых пород (в зависимости от степени сохранности остатков организмов). Необходимо, однако, помнить, что при выяснении генезиса пород рекомендуется детально изучать все их составные части, какую бы малую количественную роль они ни играли.

### Практические рекомендации к описанию осадочных пород под микроскопом

1. При микроскопическом изучении шлифов необходимо иметь перед собой образцы пород, так как некоторые особенности их строения лучше выделяются при таком одновременном просмотре.

2. Описание породы начинается с ее краткой общей характеристики, а затем подробно описываются все ее составные части.

3. В первую очередь характеризуется та составная часть породы, которая преобладает, а затем те, которые играют подчиненную роль.

4. Помимо описания минеральных составных частей отмечаются некоторые текстурные особенности пород, различимые под микроскопом — микрослоистость, пористость, трещиноватость, сутурно-стилолитовая текстура. Изучение пористости под микроскопом хорошо дополняет данные лабораторных определений пористости, так как в шлифах можно измерить объем пор и изучить их форму, что имеет большое значение при решении вопроса о проницаемости пород и выяснении условий миграции в них жидкостей.

Можно использовать следующую общую схему описания осадочных пород под микроскопом, составленную для случая обломочной породы (для всех остальных типов осадочных пород изменится лишь порядок описания, в зависимости от преобладания той или иной составной ее части).

I. Краткая общая характеристика породы.

II. Описание обломочной части породы:

1) примерное процентное содержание обломков;

2) характер их распределения в породе (равномерное, неравномерное, по слоистости);

3) степень окатанности и отсортированности обломков;

4) размеры обломков (по размеру преобладающих обломков дается название обломочной породы);

5) минеральный состав обломков и краткое описание каждого из минералов.

III. Описание сингенетичной части:

1) процентное содержание сингенетичных минералов в породе;

2) их распределение;

3) если сингенетичные соединения имеют характер цемента, то описывается структура цементирующей части;

4) краткая характеристика каждого из сингенетичных минералов.

IV. Описание органогенной части породы:

1) процентное содержание органических остатков;

2) характер их распределения в породе;

3) состав органических остатков;

4) степень сохранности органических остатков.

V. Описание эпигенетической части:

1) процентное содержание эпигенетических минералов;

2) их распределение в породе;

3) минеральный состав и структура эпигенетических выделений.

VI. Описание пористости и трещиноватости пород:

1) процент пористости и трещиноватости;

2) распределение пор и трещин;

3) размеры пор;

4) форма пор — сообщающиеся между собой или изолированные.

VII. Полное название породы (дается на основании описания). Например, песчаник мелкозернистый, кварцево-полевошпатовый с сингенетичным кальцитовым цементом скрытокристаллической структуры.

VIII. Заключение об условиях образования и эпигенетических изменениях данной породы дается по результатам изучения составных частей породы. По минеральному составу обломков устанавливаются материнские породы, располагающиеся в области сноса; по форме обломков, степени их отсортированности и размеру делается заключение о дальности переноса и характере транспортирующей среды; по сингенетичным минеральным компонентам — об условиях осаждения и формирования породы; наконец, — по вторичным образованиям — об особенностях эпигенеза.

Данные полевых наблюдений, уточненные и дополненные результатами микроскопического изучения, служат материалом для построения литологических колонок. На колонке ука-

зываются мощности отдельных слоев и пачек, типы контактов между ними, состав отложений и их взаимные переходы в пределах пачек. Рекомендуются непосредственно на колонке показывать естественную окраску пород. В тех случаях, когда разрезы описаны в поверхностных обнажениях, по краю колонки наносятся данные о характере выветрелой поверхности обнажения, так как ниши и выступы позволяют судить об относительной крепости пород, их способности сопротивляться воздействию агентов выветривания. Справа от колонки точками отмечается, где взяты образцы.

Весьма ответственной операцией является сопоставление разрезов по профилю. От того, правильно или неправильно сопоставлены разрезы, зависит успех всех последующих этапов работы. В результате сопоставления должны выделиться разновозрастные комплексы пород. Сопоставление — корреляция разрезов связана иногда со значительными трудностями. Определенные толщи пород, резко выделяющиеся по своим особенностям среди вмещающих их отложений, несмотря на однородность литологического состава в разных участках имеют иногда неодинаковый возраст. И наоборот, разнородные в фациальном отношении толщи могут оказаться синхронными.

Процесс сопоставления отдельных разрезов осадочных толщ начинается еще при их полевом описании. Выше уже рекомендовалось обращать внимание на характерные пласты (пачки, горизонты), отмечать их положение в разрезе и прослеживать, как они изменяются в соседних обнажениях (скважинах). Такие пласты при проверке могут оказаться маркирующими и значительно облегчить сопоставление разрезов. Маркирующими горизонтами можно считать, например, отдельные выдержанные пласты морских отложений среди образований смешанного или даже континентального происхождения, хорошо прослеживающийся горизонт карбонатных пород в терригенной толще и т. д. Маркирующие горизонты бывают регионального значения и местные, пригодные для целей корреляции лишь в пределах, например, участка месторождения. К региональным и местным маркирующим горизонтам предъявляются разные требования. Соблюдение этих требований обязательно, с тем чтобы избежать ложных сопоставлений разрезов.

Применяются разные способы сопоставления:

1. На основании изучения фаунистических и флористических остатков (биостратиграфический метод).

2. На основании изучения ритмичности в строении осадочных толщ (ритмостратиграфический метод).

3. На основании детального изучения минерального состава тяжелой и легкой фракций нерастворимой части пород (терригенно-минералогический метод).

Возможны и другие способы сопоставления разрезов: по электрическим свойствам пород, по крепости пород, определяемой средней скоростью проходки, по солевому составу подземных вод, если водоносные горизонты достаточно индивидуализированы по типам вод и т. п.

Все методы сопоставления разрезов, наряду с положительными сторонами, обладают и недостатками, поэтому применение их всегда связано с рядом затруднений.

Далеко не всегда можно определить возраст отложений по ископаемым остаткам фауны и флоры. В некоторых типах отложений органические остатки вообще отсутствуют или среди них нет руководящих форм, характеризующих достаточно короткие отрезки времени. Приходится также учитывать возможность миграции вверх по разрезу данных комплексов организмов и, следовательно, некоторую разновозрастность слоев, заключающих одни и те же органические остатки.

Ритмостратиграфический метод сопоставления разрезов сохраняет свое значение в пределах отдельных регионов, довольно ограниченных участков земной коры, характеризующихся общностью тектонического развития. Но и в пределах этих ограниченных регионов результаты ритмостратиграфической корреляции разрезов часто оказываются спорными.

Терригенно-минералогический метод сопоставления разрезов весьма трудоемок, требует специально оборудованной лабораторной базы для фракционирования и последующего определения минералов. Успешное применение этого метода возможно там, где достаточно четко выражены терригенно-минералогические провинции как в области сноса, так и в области осадконакопления [1, 14].

При корреляции осадочных толщ часто бывает необходимо комплексное применение известных методов сопоставления разрезов. На практике, например, биостратиграфический метод используется обычно в комбинации с ритмостратиграфическим или терригенно-минералогическим.

Характеристика радиоактивности пород с помощью полевого радиометра дается уже в процессе полевых наблюдений. Эта характеристика в дальнейшем уточняется с помощью стационарных и полустационарных радиометрических установок. Полученные данные служат для выделения продуктивных частей разрезов и типов урансодержащих пород.

Рядом с построенными литологическими колонками рекомендуется наносить данные, отражающие содержание урана во всех пробах. Продуктивные части разреза на кривых, иллюстрирующих содержание урана, будут отмечены пиками. При достаточной густоте разрезов методом интерполяции точек с разными содержаниями урана можно выявить многие детали строения рудного тела в вертикальном разрезе. Путем нанесения на план данных о мощности продуктивных частей

разрезов и величинах содержания урана (метро-проценты) в разных сечениях рудного тела выявляется простираение рудных участков или зон рудоносности по площади.

### О составлении карт в процессе литологических исследований

До сих пор еще нет общепринятой детально разработанной методики составления литологических карт разных типов. Тем не менее литологические исследования с каждым годом расширяются, вопросы литологического картирования приобретают все большую актуальность, и нет сомнений в том, что в ближайшее время такая методика будет создана. Пока можно говорить лишь об основных принципах построения карт, а их конкретное приложение в значительной степени зависит от задач исследования [18].

Различают фацциально-палеогеографические и литолого-фацциальные карты.

На фацциально-палеогеографических картах изображаются физико-географические условия, существовавшие во время образования древних осадков, то есть море и суша, контуры разделяющей их береговой линии, расположение рек, озер, вулканов, характер рельефа суши и морского дна, распределение ветров и течений, биогеографические и климатические районы и другие особенности ландшафтов прошлого. На картах условными значками показываются главные типы отложений, характерные для различных фацциальных зон.

При более детальных литологических исследованиях, чаще всего при специальных тематических работах, практикуется составление литолого-фацциальных карт. Из-за крупного масштаба эти карты охватывают ограниченное число фацциальных зон или даже не выходят за пределы одной фацциальной зоны, но они отражают все характерные изменения литологического состава пород и поэтому удобны для изучения связей рудных концентраций с составом и такими признаками пород, как их структуры, текстуры и т. п.

Фацциально-палеогеографические карты следует составлять для минимально коротких интервалов времени, для которых в данных условиях возможно выделение разновозрастных отложений. На картах показываются не только области современного распространения пород данного возраста, но и те участки, где отложения первоначально существовали, но затем были разрушены и размывы в последующие геологические эпохи. При составлении карт используются все те наблюдения и аналитические исследования, которые проводились как в процессе полевых, так и лабораторных работ; следующие основные выводы должны быть учтены при этом:

- а) характер среды отложения (водная или воздушная);

- б) физико-химические особенности водной среды отложения (ее соленость, газовый режим, pH);
- в) степень подвижности среды отложения и характер движения (поступательный или колебательный);
- г) направление и скорость движения;
- д) глубина бассейна осадконакопления;
- е) климатические особенности эпохи образования осадков;
- ж) тектонический режим в эпоху формирования осадочных толщ;
- з) рельеф суши и морского дна.

Фациально-палеогеографические и литолого-фациальные карты, отражающие условия образования и закономерности пространственного размещения различных типов осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых, служат надежной основой для разнообразных карт прогнозов. Они одновременно содержат очень богатый фактический материал для понимания закономерностей геологического развития крупных участков земной коры. В этом главное значение фациально-палеогеографического картирования и для целей поисков экзогенных месторождений урана.

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Каменный материал, собранный из кернов скважин в горных выработках и обнажениях, подвергается дальнейшему разностороннему изучению, в том числе и с применением различных методов минералого-геохимического анализа (рис. 12).

Помимо микроскопического изучения минералов, вмещающих пород и руд с помощью бинокля и микроскопа, минералого-геохимическими исследованиями предусматривается использование спектроскопического, химико-аналитического, термического, рентгенографического, электронографического, хроматографического и других методов [5, 6, 11, 15]. При изучении урановых минералов, кроме того, применяется радиометрический, фоторадиографический и люминесцентный методы [10, 13, 20, 28]. Последние основаны на радиоактивных свойствах урановых минералов и способности некоторых из них непосредственно, а после сплавления с фтористым натрием в окислительном пламени — всех без исключения, люминесцировать (светиться) в ультрафиолетовых лучах. Эти специфические методы изучения урановых минералов весьма важны при их диагностике.

Основная задача этих исследований — изучение минерального состава руд и вмещающих пород, выявление закономерностей распределения и последовательности образования отдельных минералов и минеральных комплексов в различных типах вмещающих пород, а также в различных участках ме-

сторождений — в зоне окисления, цементации и области развития первичных руд.

Минералогические исследования, в зависимости от того, направлены ли они на изучение вмещающих пород или руд,

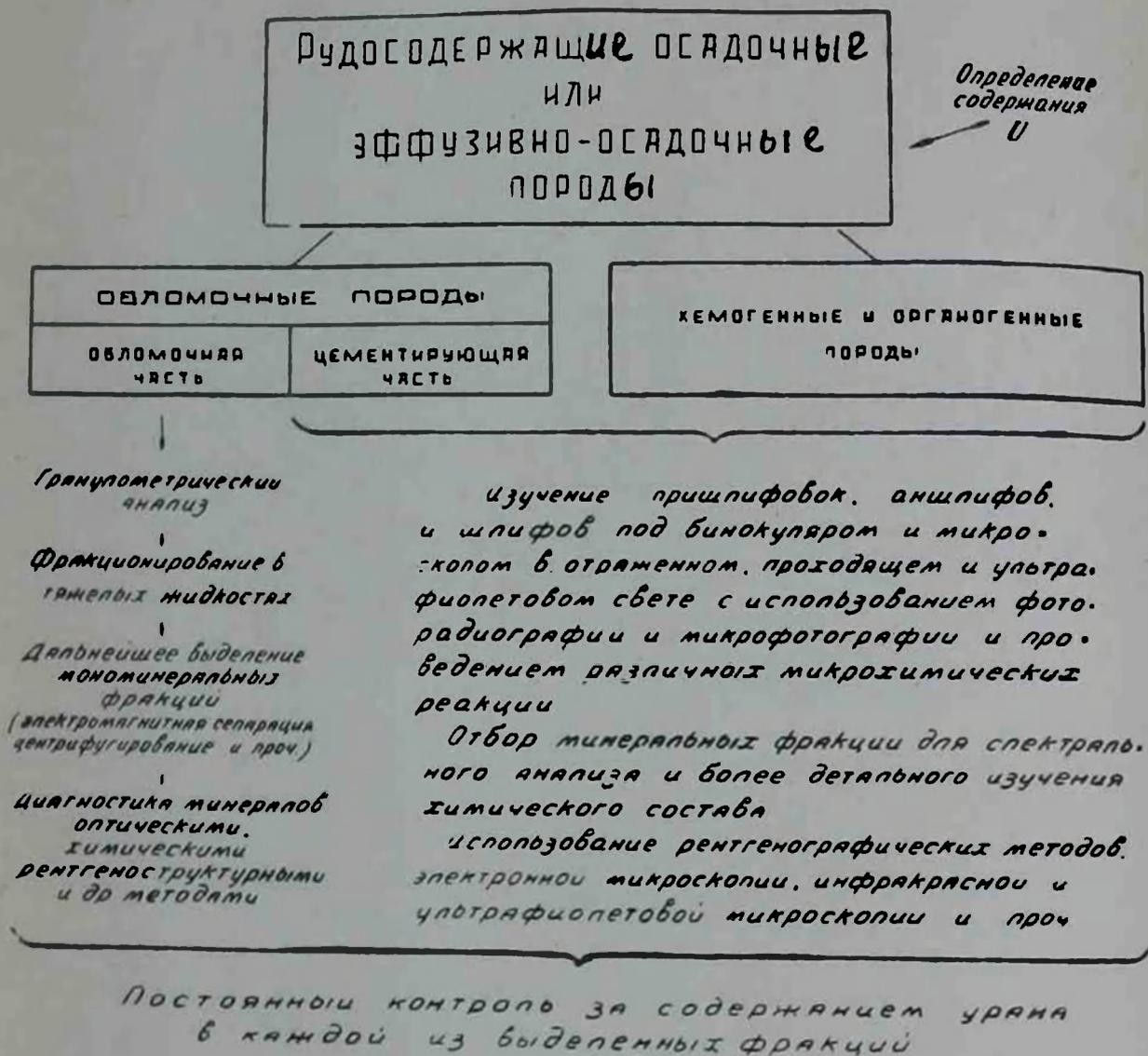


Рис. 12. Схема обработки каменного материала при минералогических исследованиях.

делятся на два комплекса со специфическими задачами и подходом к каждому из них:

1. Изучение минерального состава вмещающих пород (как породообразующих, так и акцессорных минералов) проводится в целях:

1) корреляции разрезов немых, фаунистически неохарактеризованных, а также фациально изменчивых толщ;

2) реконструкции палеогеографических условий и характеристики:

а) источников минерального питания (по обломочным и акцессорным минералам);

б) процессов седиментации и диагенеза (по аутигенным минералам);

в) последующего изменения вмещающих пород — эпигенетических процессов (по вторичным минеральным образованиям).

II. Изучение минерального состава руд — урановых, урано-содержащих и сопутствующих им минералов — проводится прежде всего для познания их состава, последовательности и условий образования отдельных минералов и их парагенетических комплексов.

Не углубляясь здесь в описание методик и отсылая интересующихся к главе IV настоящего руководства, а также к соответствующим литературным источникам, отметим, что минералогические исследования рудовмещающих пород и руд, хотя и являются очень важным и достаточно самостоятельным разделом общего комплекса работ, связанных с изучением экзогенных месторождений урана, однако вне связи с другими направлениями геологических исследований они не могут привести к достаточно полному решению вопроса о генезисе месторождений и закономерностях пространственного их размещения. Наряду с литологическими и минералогическими, большое значение при изучении условий миграции и концентрации урана и его соединений во вмещающих породах имеют гидрогеохимические исследования, краткой характеристике которых посвящен следующий раздел настоящей главы.

### РАДИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Природные воды являются важнейшим фактором миграции урана. Геохимическая история урана, как и многих других химических элементов, почти немислима вне связи с поверхностными и подземными водами. Деятельность последних направлена не только на разрушение и рассеяние имеющихся концентраций урана, но и при определенных благоприятных условиях может привести к формированию новых рудных залежей.

Радиогидрохимия возникла сравнительно недавно, но она быстро развивается и за короткий отрезок времени достигла значительных успехов. Разработка теоретических основ радиогидрохимии стала возможной благодаря общему высокому уровню отечественной гидрогеологии и гидрогеохимии. Вслед за основоположниками учения о подземных водах В. И. Вернадским и В. В. Докучаевым целый ряд крупных проблем получил освещение в работах русских ученых Н. К. Игнатовича, А. М. Овчинникова, А. Н. Бунеева, Ф. П. Саваренского, В. А. Сулина и других.

Изучение радиоактивных вод до недавнего времени велось в бальнеологических целях. Позднее проблема радиоактивности вод была подчинена главным образом изучению месторождений радиоактивного сырья. В настоящее время разработан и внедрен радиогидрохимический метод поисков урановых месторождений, опубликованы работы, вскрывающие общие закономерности распределения урана в подземных водах [2, 3, 4, 9, 19, 24].

В радиогидрогеохимии четко определились два основных направления:

1. Использование данных о составе и радиоактивности вод для целей поисков месторождений урана, предполагающее систематическое изучение отдельных районов и достаточно обширных территорий.

2. Детальное изучение разведываемых и эксплуатируемых месторождений урана, выяснение роли подземных вод в разрушении рудных залежей и формировании эпигенетической зональности.

Подземные воды в пределах водоносного горизонта характеризуются различным содержанием растворенных солей, газов, наличием или отсутствием органического вещества, разных типов бактерий и т. п. Основные физико-химические параметры подземных вод, их окислительно-восстановительный потенциал —  $Eh$  и концентрация водородных ионов —  $pH$  являются производными многих факторов и связаны между собой сложной зависимостью. Установлено, что геохимические признаки, определяющие типы подземных вод, закономерно изменяются в направлении их нисходящего движения, чем и определяется вертикальная зональность подземных вод.

Применительно к радиогидрогеохимическим исследованиям ряд вопросов гидрогеохимической зональности получил дальнейшее освещение в работах А. И. Германова, А. Н. Токарева и др.

В работах А. И. Германова (2, 3, 4) приводится схема гидрогеохимической зональности, разработанная с учетом геохимии урана: его тесной связи с органическим веществом, способностью легко вступать в окислительно-восстановительные реакции и т. д. Намечены крайние типы гидрогеохимической зональности, резко различающиеся характером протекающих химических и биологических реакций, важнейшим фактором которых является биологически активное органическое вещество.

Своеобразная гидрогеохимическая зональность типична для отложений нефтеносной, угленосной и некоторых других формаций, характеризующихся обилием органического вещества в породах и водах. Главные черты этого типа зональности иллюстрируются табл. 1. В направлении нисходящего движения

подземных вод растет их общая минерализация, меняется состав. гидрокарбонатные воды сменяются сульфатными, затем сероводородными и, наконец, получают преимущественное развитие воды хлоридного типа. Существенные изменения происходят при этом в составе растворенных газов. На смену газам атмосферного происхождения приходят газы, образующиеся в результате химического и биохимического разложения органического вещества. С глубиной возрастает количество различного состава углеводородов — газов и органических кислот. В табл. 1. приведены также пределы концентраций радиоактивных элементов для различных гидрохимических зон и сформулированы радиогидрогеологические поисково-разведочные критерии.

Другой крайний тип гидрогеохимической зональности встречается преимущественно в породах континентальных (окислительных) фаций, например, в красноцветах, характерной особенностью которых является чрезвычайная скудность или полное отсутствие органического вещества. Характеристика этого типа зональности приведена в табл. 2. Его отличительной особенностью является отсутствие зоны сероводородных вод, формирование которых в первом случае было связано с разложением органического вещества. Отсутствие реагирующего органического вещества обуславливает и некоторые другие особенности данного типа гидрогеохимической зональности. Уран продолжает поступать в подземные воды и ниже границы проникновения свободного кислорода — в зоне азотных и углекисло-азотных вод.

В связи с влиянием различных геологических факторов (состав вмещающих пород, тектоника, климат и др.) возможны самые разнообразные типы зональности вплоть до обратной, когда минерализация с глубиной снижается. Известны случаи сложной зональности, при которой неоднократно чередуются воды с различной минерализацией и изменяющимися геохимическими условиями [24].

Успех радиогидрогеохимических исследований во многом зависит от правильной увязки полученных результатов с данными о составе пород, тектонике, геоморфологии и климате района, где располагаются изучаемые объекты. Пренебрежение этим требованием может привести либо к невозможности истолковать полученные результаты, либо к заведомо неверной их интерпретации.

Радиогидрогеохимические исследования, проводимые на участках промышленно-перспективных рудопроявлений или в пределах рудных полей эксплуатируемых месторождений, выполняются на основе крупномасштабного картирования (1 : 10 000; 1 : 5 000; 1 : 2 000 и крупнее). Они должны:

- 1) определить контуры аномальных содержаний урана в подземных водах путем детального опробования;

Геохимическая зональность пластовых вод в обстановке обилия в породах

Гидрохимические зоны	Характерные компоненты	Часто наблюдаемые глубины нижних границ зон, считая от уровня подземных вод	Состав растворенных газов	Некоторые геохимические особенности зон
Зона слабо минерализованных вод, обычно гидрокарбонатного типа	$\text{HCO}_3'$ ( $\text{SO}_4''$ , $\text{Cl}'$ )	На равнинах десятки и первые сотни метров. В горах сотни метров, местами более 1000 м	$\text{O}_2$ $\text{N}_2$ $\text{CO}_2$	Окислительная обстановка благодаря растворенному в воде кислороду. Высокий окислительно-восстановительный потенциал (100—500 мв)
Зона более минерализованных вод, обычно сульфатного типа	$\text{SO}_4''$ ( $\text{HCO}_3'$ , $\text{Cl}'$ )	На равнинах сотни метров, иногда более 1000 м	$\text{CO}_2$ $\text{N}_2$	Бескислородная обстановка. Окислительно-восстановительный потенциал ниже и падает с глубиной. Растворы могут содержать $\text{Fe}^{2+}$ и другие элементы в закисной форме. Повышенные количества $\text{CO}_2$ и бикарбонатов (карбонатов)
Зона углекислосероводородных вод	$\text{H}_2\text{S}$ ( $\text{SO}_4''$ , $\text{Cl}'$ , $\text{HCO}_3'$ )	В горах многие сотни метров и первые километры	$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{CO}_2$ ( $\text{CH}_4$ и другие углеводороды)	В водах присутствуют сероводород и углекислота. Породы бедны органическим веществом. Окислительно-восстановительный потенциал еще ниже
			$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ и другие углеводороды	В водах обильно развиты сероводород, углекислота и газы метановой группы. Породы богаты химически и биохимически реагирующим органическим веществом. Окислительно-восстановительный потенциал низкий (от 0 до 50 мв и меньше). Резко восстановительные условия

Содержание радиоактивных компонентов в водах						Радиогидрогеологические поровые-разветвленные критерии
на безрудных участках			на рудных участках			
U в г/л	Ra в г/л	Rn в эма-нах	U в г/л	Ra в г/л	Rn в эма-нах	
$n \cdot 10^{-7}$ $n \cdot 10^{-5}$ , редко до $5 \cdot 10^{-4}$	До $5 \cdot 10^{-12}$ часто ни- же $1 \cdot 10^{-12}$	Единицы, первые десятки, иногда до 100	$n \cdot 10^{-4}$ $n \cdot 10^{-2}$ , редко $n \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 10^{-12}$ $n \cdot 10^{-10}$ , иногда $n \cdot 10^{-9}$	Многие десятки, сотни, иногда тысячи	Аномально высокое со- держание в воде урана, радия и радона
$n \cdot 10^{-7}$ $n \cdot 10^{-5}$	Меньше $5 \cdot 10^{-12}$ , с возрастани- ем минера- лизации по- вышается до $n \cdot 10^{-11}$		$n \cdot 10^{-5}$ $n \cdot 10^{-4}$ , иногда $n \cdot 10^{-3}$			Критерии аналогичны, но абсолют- ные содер- жания ура- на в ано- мальных во- дах обычно ниже
			$n \cdot 10^{-5}$ $n \cdot 10^{-4}$ , редко $n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-11}$ $n \cdot 10^{-10}$ , иногда $n \cdot 10^{-9}$	Десятки и сотни	Критерии аналогичны, но аномалии менее конт- растные, особенно по радню и радону
$n \cdot 10^{-7}$ и мень- ше, реже до $5 \cdot 10^{-6}$			$n \cdot 10^{-7}$ , реже $n \cdot 10^{-6}$			Аномально высокое со- держание радия

Гидрохимические зоны	Характерные компоненты	Часто наблюдаемые глубины нижних границ зон, считая от уровня подземных вод	Состав растворенных газов	Некоторые геохимические особенности зон
Зона высокоминерализованных вод хлоридного типа	Cl <sup>-</sup> (иногда в больших количествах SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Вплоть до максимальных глубин развития трещин и пор, содержащих свободные (гидравлические подвижные) воды (километры, нередко более 5 км)	CH <sub>4</sub> и другие углеводороды	В водах развиты газы метановой группы, углекислота, нефтяные кислоты. Породы богаты рассеянным или локализованным органическим веществом. Окислительно-восстановительный потенциал очень низкий (меньше —50—100 мв). Резковосстановительные условия

Содержание радиоактивных компонентов в водах						Радиогидрогеологические поисково-разведочные критерии
на безрудных участках			на рудных участках			
U в г/л	Ra в г/л	Rп в эма-нах	U в г/л	Ra в г/л	Rп в эма-нах	
$1 \cdot 10^{-6}$ и мень-ше	$n \cdot 10^{-11}$ $n \cdot 10^{-10}$ , иногда до $n \cdot 10^{-9}$	Меньше 10, иног-да пер-вые де-сятки	$1 \cdot 10^{-6}$ и мень-ше	$n \cdot 10^{-10}$ $n \cdot 10^{-9}$	Первые десятки и мень-ше	

Геохимическая зональность пластовых вод при отсутствии в породах

Гидрохимические зоны	Характерные компоненты	Часто наблюдаемые глубины нижних границ зон, считая от уровня подземных вод	Состав растворенных газов	Некоторые геохимические особенности зон
Зона слабо минерализованных вод, обычно гидрокарбонатного типа	$\text{HCO}_3'$ ( $\text{SO}_4''$ , $\text{Cl}'$ )	На равнинах десятки и первые сотни метров. В горах сотни метров, местами более 1000 м	$\text{O}_2$ $\text{N}_2$ $\text{CO}_2$	Окислительная обстановка благодаря растворенному в воде кислороду. Высокий окислительно-восстановительный потенциал (100—500 мв)
Зона более минерализованных вод, обычно сульфатного типа	$\text{SO}_4''$ ( $\text{HCO}_3'$ , $\text{Cl}'$ )	На равнинах сотни метров, местами более 1000 м. В горах многие сотни метров и первые километры	$\text{N}_2$ $\text{CO}_2$	Бескислородная обстановка. Окислительно-восстановительный потенциал падает с глубиной. Одновременно в растворе в возрастающих количествах появляются $\text{Fe}^{2+}$ и другие элементы в закисной форме
Зона высоко минерализованных вод хлоридного типа	$\text{Cl}'$ ( $\text{SO}_4''$ всегда)	Вплоть до максимальных глубин развития трещин и пор, содержащих свободные (гидравлически подвижные) воды (километры, нередко более 5 км)		

Содержание радиоактивных компонентов в водах						Радиогидрогеологические поисково-разведочные критерии
на безрудных участках			на рудных участках			
U в г/л	Ra в г/л	R <sub>п</sub> в эма-нах	U в г/л	Ra в г/л	К <sub>п</sub> в эма-нах	
$n \cdot 10^{-7}$ $n \cdot 10^{-5}$ , редко до $5 \cdot 10^{-4}$	До $5 \cdot 10^{-12}$ , часто ниже $1 \cdot 10^{-12}$	Едини- цы, пер- вые де- сятки	$n \cdot 10^{-4}$ $n \cdot 10^{-2}$ , редко $n \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 10^{-13}$ $n \cdot 10^{-10}$ , иногда $n \cdot 10^{-9}$	Многие десятки, сотни и тысячи	Аномально высокое со- держание в воде урана, радия и ра- дона
$n \cdot 10^{-7}$ $n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-12}$ и меньше; по мере уве- личения ми- нерализации вод с глу- биной воз- растает до $n \cdot 10^{-11}$		$n \cdot 10^{-5}$ $n \cdot 10^{-4}$ , иногда выше	$n \cdot 10^{-12}$ $n \cdot 10^{-10}$ , в более минерали- зованных во- дах $n \cdot 10^{-11}$ $n \cdot 10^{-10}$ , иногда $n \cdot 10^{-9}$		Критерии аналогичны, но абсолют- ные содер- жания ура- на в ано- мальных во- дах обычно ниже
	$n \cdot 10^{-11}$ $n \cdot 10^{-11}$ , иногда до $5 \cdot 10^{-9}$			$n \cdot 10^{-10}$ $n \cdot 10^{-9}$ , возмож- но боль- ше		

2) установить условия распространения, глубину залегания и водообильность водоносных горизонтов, с которыми связаны рудные тела или другие очаги радиоактивных вод, а также условия питания и стока подземных вод;

3) выявить схему гидродинамики и зональность в распределении радиоактивных элементов в подземных водах различных водоносных горизонтов;

4) установить условия формирования подземных вод, с которыми связаны очаги радиоактивных вод, и выявить предполагаемые очаги обогащения вод радиоактивными элементами.

Кондиционными считаются те карты, на которых густота точек опробования составляет не менее 0,25 на 1 см<sup>2</sup> карты.

Кроме урана, в значительной части проб определяют радон и радий. Особое внимание уделяется изучению распределения свободного кислорода ниже уровня грунтовых вод и замерам их окислительно-восстановительного потенциала. Замеры Eh необходимо выполнять на месте отбора проб.

На многих месторождениях выделяются зоны окисленных, смешанных и первичных руд. Зональность в распределении типов руд формируется обычно под воздействием подземных вод в соответствии с их гидрогеохимической зональностью. На урановых месторождениях, приуроченных к карбонатным породам [7—8], эта взаимосвязь вертикальной гидрогеохимической зональности с минеральным составом руд и их положением в тектонической структуре месторождения выявляется достаточно отчетливо (табл. 3); не менее ярко она проявляет себя и на урано-угольных месторождениях (рис. 13).

В зоне активного водообмена подземные воды, воздействуя на урановую минерализацию, значительно обогащаются ураном, молибденом, сульфат-ионом и т. п. Этот процесс зависит от ряда факторов и, прежде всего, от положения урановой минерализации по отношению к уровню подземных вод, так как воды зоны просачивания по сравнению с водами зоны насыщения характеризуются в общем более высокими содержаниями рудных компонентов.

Для вод зоны просачивания наблюдается зависимость между содержанием в них урана и величиной рН. Наиболее обильный переход урана в раствор из черниевых руд имеет место на участках формирования очень кислых (купоросных) вод с рН = 3. Но достаточно высокие содержания урана наблюдаются и в других типах вод, вплоть до слабо щелочных (до  $n \cdot 10^{-1}$ , чаще  $n \cdot 10^{-3}$  г/л и меньше).

Н. Х. Айдиньян установила, что содержание урана в воде зоны активного водообмена зависит от формы нахождения урана в породах. Когда оруденение представлено преимущественно вторичными минералами, в воде зоны просачивания

Типизация рудных залежей месторождения

Основные типы руд	Минеральный состав руд		Текстуры руд	Морфологии рудных залежей	Условия залегания рудных тел		
	важнейшие группы урановых минералов	сопутствующие группы минералов			гидрогеологические	структурно-тектонические	
I Окисленные	Ванадаты, силикаты, карбонаты и сульфаты урана с реликтами черной и водных окислов урана	Водные окислы железа	Преобладание прожилковых, реликтовых, слоистых и равномерно рассеянных	Гнездообразные рудные тела	Зона активного водообмена	Обилие растворенного в водах кислорода	Своды и присводные участки антиклинальных структур
II Смешанные	Водные окислы урана, карбонаты, сульфат-карбонаты и фосфаты урана + урановая смолка и черни	То же + сульфиды железа и др. металлов	Преобладание слоистых и равномерных	С контрастным размещением урановых концентраций	Зона затененного водообмена	Ограниченность кислорода, наличие $CO_2$ , иногда $H_2S$ , углеводороды	Крылья антиклиналей и моноклиналией
III Смолково-черниевые	Урановая смолка и урановые черни + водные окислы урана	Сульфиды железа и др. металлов	Преобладание слоистых и равномерных	С равномерным размещением урановых концентраций	Зона затененных вод	Отсутствие кислородов; изобилие $H_2S$	Синклинали и глубокие части моноклиналей

отмечается низкое содержание рудных компонентов, что связано с относительно большей устойчивостью здесь вторичных минералов по сравнению с окислами урана.

Установлено, что в зоне активного водообмена химический состав подземных вод и их общая минерализация не оказывают существенного влияния на миграцию урана.

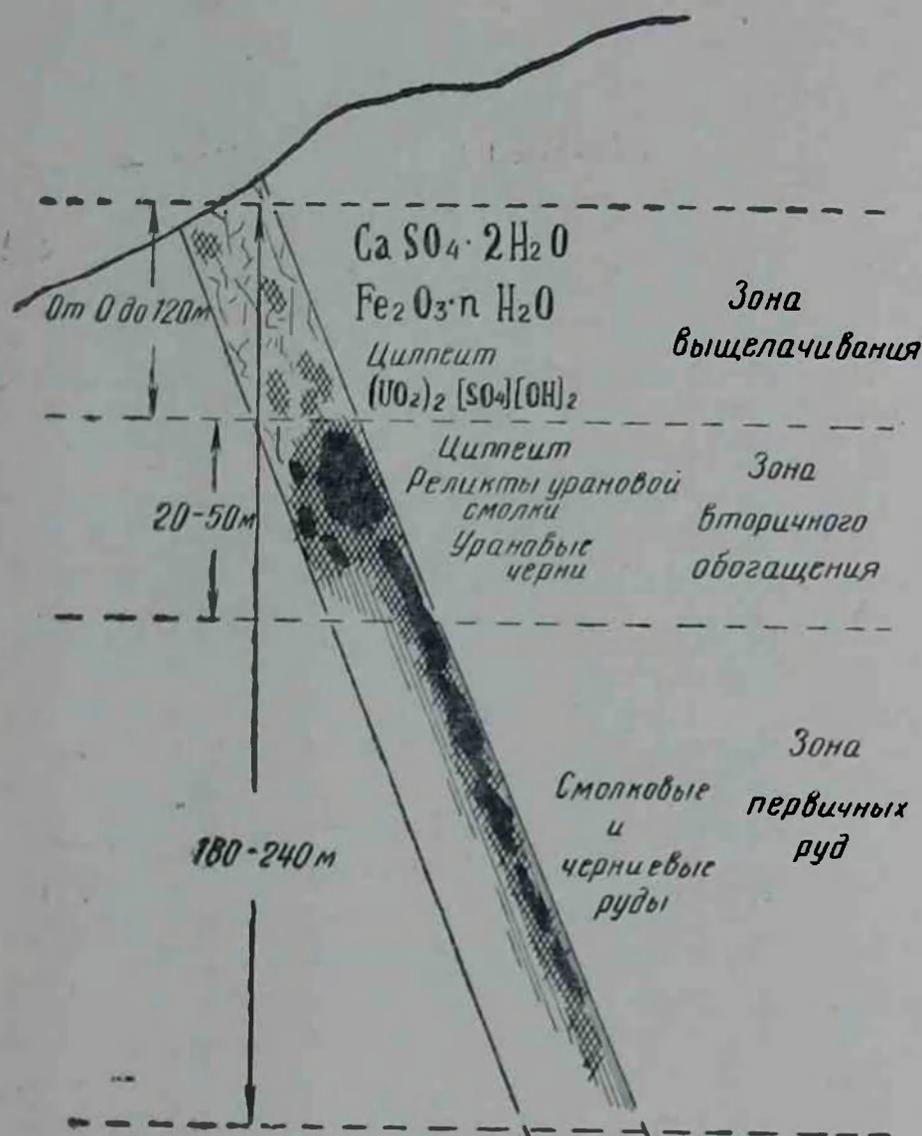


Рис. 13. Схематическое строение рудной залежи, приуроченной к угольному пласту.

В зависимости от литологического состава вмещающих пород, их физико-механических (коллекторских) свойств и минералого-геохимических особенностей выделяется три типа гидрогеохимических условий окисления черниевосмолковой урановой минерализации в зоне просачивания [2, 3].

На первом этапе, благодаря относительно обилию в рудосодержащих породах пирита и других сульфидов при отсутствии или бедности их карбонатами, в зоне просачивания на всю ее мощность развиты кислые сульфатные (купоросные) воды ( $\text{pH} = 4$  и ниже). Здесь, несмотря на высокое содержа-

ние в водах урана (до граммов на литр, а иногда и выше), вторичные минералы урана не образуются вследствие повышенной растворимости их в кислой среде. В конце концов, в этом случае, практически весь уран, содержащийся в рудах, выносится из зоны просачивания. Процесс этот совершается достаточно быстро, вследствие чего весьма обедненные зоны окисления могут возникать не только в районах с древней и хорошо проработанной корой выветривания, но и в условиях сравнительно молодого эрозионного среза.

Поэтому поиски месторождений урана с такого типа гидрогеохимическими условиями в зоне окисления весьма затруднительны. Несколько облегчает их то, что небольшая доля урана может сорбироваться гидроокислами железа, марганца, кремния [10]. Кроме того, в зоне просачивания некоторое время сохраняются ионий (несколько более 2 млн. лет) и продукт его распада — радий, который в зоне окисления очень хорошо сорбируется различными минеральными новообразованиями — гидроокислами железа и марганца, а также глинистыми минералами и вторичными сульфатами. Следует иметь в виду, что в ряде случаев часть кислых вод, взаимодействуя с породами, успевает на отдельных участках разреза несколько нейтрализоваться и здесь местами возникают благоприятные условия для образования вторичных минералов урана.

В том случае, если рудовмещающие породы бедны пиритом и другими сульфидами или же при обилии сульфидов обогащены одновременно карбонатами, процесс окисления в зоне просачивания протекает иначе. Возникающие при окислении сульфидов кислые растворы в значительной своей части еще в зоне просачивания успевают достаточно нейтрализоваться (до рН 4—5 и выше).

При нейтрализации растворов происходит образование сульфатов, сульфат-карбонатов, фосфатов, силикатов, ванадатов или других вторичных минералов урана, которые отличаются низкой растворимостью в слабокислых и слабощелочных средах.

В процессе развития второго типа зоны просачивания обычно часть урана также уносится водами в зону насыщения. Однако поиски таких месторождений менее затруднительны, чем в случае окисления в обстановке кислых растворов, поскольку на площади рудного поля встречаются вторичные минералы урана. В отдельных случаях, когда руды или прилегающие породы одновременно обогащены сульфидами и другими минералами-нейтрализаторами, выше уровня грунтовых вод могут возникать окисленные руды, представляющие иногда промышленный интерес.

Третий тип процесса окисления в зоне просачивания развивается тогда, когда смолковые или черниевые руды, а также

прилегающие породы очень бедны сульфатами или практически лишены их. В этом случае при окислении рудных залежей, содержащих урановую смолку и черни, не возникают кислые растворы, агрессивно действующие на породообразующие минералы. Слабая карбонатность вмещающих пород не обеспечивает нейтрализацию даже тех незначительных количеств сульфатных растворов, которые могут формироваться в локальных участках рудного горизонта. Урановая смолка и черни постепенно выщелачиваются просачивающимися водами ( $pH=6,5-8,5$ ). При недостатке анионов кислот, необходимых для связывания урана во вторичные минералы, зона окисления почти полностью лишена их.

Важной, но пока слабо разработанной является проблема гидрогеохимических условий формирования концентраций урана в осадочных породах (гидрогенных концентраций — по А. Е. Ферсману). Достоверных данных по указанной проблеме накоплено пока еще мало; требует дальнейшей разработки и специальная методика их изучения и моделирования. Однако уже можно назвать некоторые условия, благоприятствующие формированию эпигенетической (гидрогенной) урановой минерализации. Таковыми являются: наличие повышенных содержаний урана в породах, слагающих водоносный горизонт; интенсивная циркуляция подземных вод по этим породам; положение областей питания в жарком и засушливом климате; перемежаемость водоносных горизонтов — песчаных, с водоупорными — глинистыми; наличие в водоносных горизонтах резко выраженных межпластовых зон окисления, характеризующихся изменением окраски пород — желтой и бурой выше границы этой зоны в серые и зеленовато-серые тона, обязанные присутствию в осадочных породах органического вещества и других соединений, обусловивших восстановительную обстановку на ранних стадиях породообразования. Процесс вторичного обогащения отдельных участков рудной залежи во многом зависит от гидродинамических условий, в которых находится месторождение. Гидродинамическая обстановка определяет форму ореола рассеяния урана в подземных водах, а следовательно, и характер зоны вторичного обогащения (наряду с распределением восстановителей). Так, в одних случаях обогащение происходит за счет нисходящей, в других — боковой миграции вод. При этом в одних случаях уран перераспределяется в пределах одной рудной залежи, в других — выносятся на более значительные расстояния. Следует иметь в виду, что переотложение урана под действием восстановителей развито не только выше уровня местного базиса эрозии, но и ниже его на десятки и первые сотни метров. Верхняя граница «зоны цементации» в различных месторождениях то совпадает с уровнем подземных вод (при обилии восстановителей), то располагается ниже его на той или иной глубине.

Известны примеры вторичного обогащения ураном осадочных пород разрушающихся нефтяных и угольных месторождений.

Необходимо иметь в виду, что картина гипергенной зональности, составленная на основании изучения современных вод, отражает самый последний этап геологической истории месторождения. Вместе с тем было бы крайне важно проследить шаг за шагом всю историю формирования и изменения природных вод с момента их захоронения в осадках палеобассейнов до настоящего времени.

Эту задачу призван решить раздел гидрогеологии, получивший наименование палеогидрогеологии. Применение методов и приемов палеогидрогеологии значительно расширит возможности гидрогеохимических исследований, так как позволит оценивать роль подземных вод не только на современной стадии существования месторождения, но и выявлять черты гипергенных изменений урановых месторождений в отдаленные геологические эпохи.

Палеогидрогеологический анализ представляет собой комплексное исследование палеогеографических условий с восстановлением картины гидрогеохимической зональности в главные этапы жизни бассейна подземных вод, в пределах которого располагается район месторождения. Палеогидрогеологические исследования предусматривают составление серии разрезов и карт с показом на них основных фациальных зон и контуров ранее существовавших бассейнов с обязательным выделением области инфильтрации атмосферных осадков и очагов разгрузки грунтовых вод.

Изучение состава древних вод осуществляется путем отжата растворов, пропитывающих горные породы, с определением коррелирующих микроэлементов и вычислением возраста воды (по отношению гелия к аргону). Большое значение в этих исследованиях приобретает изучение изотопов.

Помимо прямого определения состава древних вод предложен метод, позволяющий косвенно судить о распространении вод с различной минерализацией и приближенно оценивать их химический состав [26]. В основе метода лежит выявленное автором положение, вытекающее из условий движения и разгрузки подземных вод в закрытых структурах. Соотношение пьезометрического уровня, уровня грунтовых вод и уровня моря таково, что инфильтрационные воды, движущиеся в водоносном горизонте от областей питания, могут проникнуть только до места пересечения пьезометрического уровня с современным уровнем моря. Дальше залегают застойные погребенные морские воды.

Линия пересечения пьезометрической поверхности напорных вод и поверхности моря явится, таким образом, проекцией фронта между инфильтрационными и погребенными морскими

водами. Этот фронт может несколько перемещаться в сторону суши, не отдаляясь вместе с тем далеко от берега. Наибольшее продвижение его в сторону берега характерно для относительно глуболежащих водоносных горизонтов, а также для верхних горизонтов на участках, где, в силу своеобразных физико-механических свойств пород, фильтрация вод затруднена и влияние областей питания, таким образом, ослаблено.

Связь фронта сильно минерализованных вод с береговой полосой моря наблюдается в неглубоко лежащих водоносных горизонтах в Терско-Кумском, Азово-Кубанском, Причерноморском и других артезианских бассейнах. Смена щелочных вод хлоридными сильно минерализованными водами в береговой полосе Атлантического океана отмечена также в Восточной Виргинии (США). Связь эта, являющаяся закономерной, может служить критерием для определения положения фронта сильно минерализованных хлоридно-натриевых вод в том или ином водоносном горизонте и в прошлые геологические эпохи, учитывая особенности расположения береговых линий, существовавших тогда морских бассейнов, с учетом других палеогеографических данных.

О влиянии подземных вод в стадию регрессивного эпигенеза позволяют судить те вторичные изменения, которые фиксируются в породах при их детальном литолого-геохимическом изучении.

Характерные черты эпигенетической зональности были обнаружены на урановых месторождениях, содержащих окисленное нефтяное органическое вещество [25].

Особенности вторичных изменений пород при этом указывают на активную роль нефтяной органики в ходе гидрогеохимических преобразований первичных концентраций урана. При этом получают широкое распространение явления отбеливания пород, растворение карбонатов и вторичная кальцификация, окремнение, накопление твердых битумов на локальных участках и вторичная пиритизация. Эти противоречивые в геохимическом отношении явления достаточно хорошо изучены в пределах структур, к которым приурочены нефтяные и газовые месторождения. Они протекают в условиях анаэробного окисления нефтяных битумов и имеют биохимический характер. Образующиеся при этом  $H_2S$  и  $CO_2$  наибольшей концентрации достигают в зоне водонефтяного контакта, где наиболее интенсивно идет процесс биохимического окисления нефти, а повышение концентрации этих газов, как известно, обуславливает изменение рН пластовых вод в сторону его уменьшения.

Кроме того, поблизости от водонефтяного контакта располагается такой рубеж, на котором резко меняются окислительно-восстановительные свойства пластовых вод. Поэтому зона, прилегающая к водонефтяному контакту, является

геохимическим барьером, в пределах которого происходит осаждение из раствора соединений урана, ванадия, а также кремнезема. Одновременно эта зона характеризуется неустойчивым карбонатным равновесием в водах, на что указывают наблюдающиеся здесь явления растворения карбонатов и кальцитизации.

Таким образом, древняя эпигенетическая зональность в нефтеносных карбонатных породах, содержащих урановое оруденение, находит удовлетворительное объяснение в свете геохимических процессов, протекающих в настоящее время при разрушении нефтяных залежей. При этом, используя метод аналогии, можно судить о солевом и газовом составе древних вод, а также об их окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных свойствах.

Возможны, вероятно, и другие способы суждения о составе и зональности древних подземных вод. Одно из перспективных направлений в решении вопросов палеогидрогеологии, как мы видели, заключается в тесной увязке результатов гидрогеологических и гидрогеохимических исследований с литолого-геохимическими данными. Литолого-геохимическое направление в изучении урановых месторождений в настоящее время накопило значительный опыт, позволяющий достаточно уверенно выделять многие стадии рудообразующего процесса. Используя этот опыт, гидрогеологи могут решать многие вопросы, которые не поддаются обычным методам гидрогеохимии.

Однако при этом следует иметь в виду, что само литолого-геохимическое направление сталкивается с рядом трудностей, преодолеть которые можно лишь строго придерживаясь принципа историзма при анализе фактического материала. В противном случае возможна, и действительно имеет место, переоценка роли и значения самых последних стадий жизни месторождения, которые наиболее ярко проявлены и в силу этого как бы затушевывают начальные стадии концентрации и преобразования рудного вещества

В заключение следует еще раз обратить внимание на ту опасность, которая неизбежно приводит к ошибочным выводам при отходе от принципа историзма как при литолого-геохимических, так и при гидрогеологических исследованиях. В связи с этим особое значение приобретает выдвинутый А. М. Овчинниковым тезис о том, что «историко-гидрогеологическое направление является единственно правильным при решении проблемы формирования подземных вод» [23].

## ЛИТЕРАТУРА

1. БАТУРИН В. П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. Изд. АН СССР, 1947.
2. GERMANOV A. I. Основные черты гидрогеохимических условий формирования месторождений урана. «Известия АН СССР», сер. геол., № 8, 1960.
3. GERMANOV A. I. Геохимические и гидродинамические условия возникновения эпигенетической урановой минерализации в нефтеводоносных горизонтах. «Геохимия», № 2, 1961.
4. GERMANOV A. I., BATULIN S. G., VOLKOV G. A., LISICIN A. K., SEREBRENNIKOV V. S. Некоторые закономерности распределения урана в подземных водах. Докл. на 2-й Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. 1958.
5. GECEVA P. V. и САВЕЛЬЕВА К. Т. Руководство по определению урановых минералов. Госгеолтехиздат, 1956.
6. ГИНЗБУРГ И. И. Кора выветривания. Изд. АН СССР, 1952.
7. ДАНЧЕВ В. И., КОРНИЛОВ А. М., НЕЙМЫШЕВ М. В., ОЛЬХА В. В., ПРОШЛЯКОВ Б. К., СТРЕЛЯНОВ Н. П., СЫТНИКОВ М. П. Об урановом оруденении в карбонатных осадочных породах. «Геология рудных месторождений», № 6, 1959.
8. ДАНЧЕВ В. И., ОЛЬХА В. В. О некоторых вопросах генезиса уранового оруденения в связи с изучением эффективной пористости рудо-содержащих карбонатных пород. «Известия АН СССР», сер. геол., № 7, 1959.
9. ЕВСЕЕВА Л. С., ПЕРЕЛЬМАН А. И. Геохимия урана в зоне гипергенеза. Госатомиздат, 1962.
10. МЕЛКОВ В. Г., ПУХАЛЬСКИЙ Л. Ч. Понски месторождений урана. Госгеолтехиздат, 1957.
11. Методы изучения осадочных пород; т. I и II. Госгеолтехиздат, 1957.
12. НАЛИВКИН Д. В. Учение о фациях. Изд. 3-е, АН СССР (в 2-х томах), 1955—1956 гг.
13. ПЕТРОВ Г. И., КУТЕНКОВ М. В., ТЕНЕНБАУМ И. М., ЕВСЕЕВА Л. С. Методы геолого-геофизического обслуживания урановых рудников. Атомиздат, 1960.
14. ПОПОВ В. И. Литология кайнозойских моласс Средней Азии. Часть I, Ташкент, 1954.
15. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ И. А., САРКИСЯН С. Г. Минералы осадочных пород. Гостоптехиздат, 1954.
16. ПУСТОВАЛОВ Л. В. Петрография осадочных пород. Части I и II. Гостоптехиздат, 1940.
17. РУХИН Л. Б. Основы литологии. Гостоптехиздат, 1961.
18. РУХИН Л. Б. Основы общей палеогеографии. Гостоптехиздат, 1959.
19. САУКОВ А. А., GERMANOV A. I. Понски урановых месторождений радиогидрогеологическим методом. Госгеолиздат, 1955.
20. СОБОЛЕВА М. В., ПУДОВКИНА И. Л. Минералы урана. Госгеол-издат, 1957.
21. СТРАХОВ Н. М. Диагенез осадков и его значение для осадочного рудообразования. «Известия АН СССР», сер. геол., № 5, 1953.
22. СТРАХОВ Н. М. Основы теории литогенеза. Тома I и II. Изд. АН СССР, 1960.

23. ТЕОДОРОВИЧ Г. И. Учение об осадочных породах. Гостоптехиздат, 1958.
  24. ТОКАРЕВ А. Н., ЩЕРБАКОВ А. В. Радиогидрогеология. Госгеол-издат, 1956.
  25. ХОЛОДОВ В. Н., ЛИЦИН А. К. и др. Об эпигенетической зональности уранового оруденения в нефтеносных карбонатных породах. «Известия АН СССР», сер. геол., № 11, 1961.
  26. ШАГОЯНЦ С. А. Палеогидрологическая схема формирования подземных вод центральной и восточной частей Северного Кавказа. Труды лабор. гидрогеол. проблем им. акад. Ф. П. Саваренского, том VI, 1949.
  27. ШВЕЦОВ М. С. Петрография осадочных пород. Гостоптехиздат, 1958.
  28. ЩЕРБИНА В. В. и ЩЕРБАКОВ Д. И. Химия и геохимические особенности урана. В кн. «Геология, поиски и разведка месторождений урана», ч. I, Госгеолиздат, 1955.
  29. ЩЕРБИНА В. В. Поведение урана и тория в условиях сульфатно-карбонатной и фосфатной сред зоны гипергенеза. «Геохимия», № 6, 1957.
-

## ГЛАВА IV

### ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УРАНОВЫХ РУД И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

#### ВЫБОР КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИИ

Задача изучения генезиса и закономерностей локализации уранового оруденения в осадочных породах может быть решена лишь при комплексном использовании методов полевых и лабораторных исследований и при условии, что в результате будут выявлены и воссозданы характерные особенности вмещающих пород на всех стадиях их формирования и изменения. Тем самым может быть определено и место уранового оруденения в стратиграфическом разрезе, фациально-палеогеографическом плане и по стадиям формирования пород.

В отличие от региональных фациально-палеогеографических исследований, при изучении рудных месторождений, локализованных в осадочных породах, необходим массовый отбор образцов из многочисленных разрезов с последующей их лабораторной обработкой.

Такими массовыми видами анализов, результаты которых могут быть обработаны статистически, являются радиометрический, карбонатный анализы, определение цвета и пористости пород и некоторые другие, включая и микроскопическое изучение шлифов. Не менее важное значение имеет постановка некоторых специальных единичных определений, с помощью которых решается ряд узких конкретных задач (электролиз, термический и рентгеновский анализы, химическое определение отдельных элементов и др.).

При изучении экзогенных месторождений урана в той или иной мере могут быть использованы почти все виды лабораторных исследований, применяемые в литологии и нефтяной геологии для познания осадочных пород и локализованных в них полезных ископаемых. По своему назначению они могут быть разделены на две группы, связанные с изучением:

- 1) вещественного состава ураноносных осадочных пород и
- 2) различных свойств этих пород. Среди большого разнообра-

разия аналитических исследований можно выделить химические, физико-химические, физические и другие методы анализов (табл. 4 и 5). Специальные виды анализов, как то: спектральный, химический, радиометрический и другие достаточно освещены в литературе, ссылки на которую приведены в конце данной главы, поэтому в настоящем руководстве дается главным образом описание лишь тех методик, которые непосредственно относятся к литологическим исследованиям. При описании отдельных методов анализов кратко характеризуется их назначение, необходимое оборудование и материалы, ход выполнения и приемы интерпретации результатов; ряд методов описан менее детально. Значительная часть из перечисленных методов требует хорошо оснащенной лабораторной базы и больших усилий и времени при их исполнении, в связи с чем их использование должно диктоваться строгой целесообразностью.

Большой комплекс сравнительно простых химических, люминесцентных и радиометрических определений, разные виды микроскопического и фоторадиографического изучения минералов рудовмещающих осадочных пород и руд почти всегда можно организовать в полевых лабораториях. На них приходится основной объем определительской работы и уже на основе их с привлечением данных спектрального и других анализов, базирующихся на стационарные лаборатории, можно решать целый ряд более сложных задач.

Таблица 4

Важнейшие лабораторные методы изучения вещественного состава и свойств ураноносных осадочных пород

Методы анализа	Изучение вещественного состава пород	Исследования свойств пород
Химические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Качественный и количественный химанализ на уран и сопутствующие элементы.</li> <li>2. Определение органического углерода.</li> <li>3. Карбонатный анализ</li> </ol>	Определение восстановительной емкости пород
Физико - химические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ глинистых минералов методом окрашивания.</li> <li>2. Термический анализ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение рН и Eh минеральных суспензий.</li> <li>2. Электродиализ</li> </ol>
Физические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Радиометрическое определение радиоактивных элементов.</li> <li>2. Перлово-люминесцентный анализ на уран.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Получение радиографий и микрорадиографий.</li> <li>2. Оптические методы изучения структур руд и пород.</li> </ol>

Методы анализа	Изучение вещественного состава пород	Исследования свойств пород
Физико-механические	3. Оптические методы диагностики минералов (микроскопия). 4. Спектральный анализ. 5. Рентгено-спектральный анализ. 6. Рентгено-структурный анализ. 7. Люминесцентно-битуминологический анализ. 8. Шлиховой анализ.	3. Фотометрическая характеристика цвета пород. 4. Термолюминесцентный анализ.  1. Гранулометрический анализ. 2. Определение пористости и проницаемости пород. 3. Характеристика структуры порового пространства.

Таблица 5

Выбор методов анализа при изучении вещественного состава ураноносных осадочных пород

Вид анализа	Характеристика анализа	Открываемые компоненты
Микрохимический в пробирках	Качественный, полуквантитативный, полевой	V, Mo, Cu, Se, P, TR, Co, Ni, Pb, Zn, Sn, Ag, As, Cr, Fe, Mn, Au, Th, Ti, Zr, Nb, Ta, W
Капельный	Качественный полевой	U, V, Mo, Cu, Se, P, Co, Ni, Pb, Zn, Ag, As, Cr, Fe, Mn, Au, Ti, Zr, W, Sn
Метод растирания порошков	»	V, Mo, Cu, Se, P, Co, Ni, Pb, Zn, Ag, As, Cr, Fe, Mn, Ti, W
Метод паяльной трубки (перловый)	»	V, Mo, Cu, Co, Ni, Cr, Mn, Fe
Дитизионовый	Количественный полевой	Pb, Cu, Zn, Ag

Вид анализа	Характеристика анализа	Открываемые компоненты
Перлово - люминесцентный	качественный и количественный, полевой и стационарный	U
Радиометрический	количественный, стационарный и полевой	U, Th, Ra
Спектральный	полуколичественный, стационарный	V, Mo, Cu, Co, Ni, Pb, Zn, Ag, Cr, Mn, Ti, Zr, Nb, Ta, W, Sn
Рентгенохимический (рентгеноспектральный)	количественный, стационарный	U, Th, TR, Nb, Ta, Ti, Zr и др. элементы с порядковым номером >15
Химический	количественный, стационарный	1. Количественное определение элементов, обнаруженных предварительно другими методами 2. Анализ формы нахождения элементов
Метод красителей	качественный, стационарный, полевой	Минералы глин, карбонаты
Термический	качественный и количественный, стационарный	Минералы глин, карбонаты
Люминесцентно - битуминологический	качественный, количественный, стационарный	Битумы различных классов
Гранулометрический и шлиховой	количественный	Терригенные обломочные минералы (породообразующие, аксессуарные и рудные)
Оптические методы (микроскопия)	качественный и количественный, главным образом стационарный	Диагностика минерального состава пород
Рентгеноструктурный	Качественный, стационарный	Диагностика отдельных минералов

На различные виды анализов следует передавать по возможности одни и те же образцы, чтобы получаемые результаты можно было сопоставлять. Учитывая, что производительность отдельных методов анализов изменяется от десятков до сотен определений в месяц, целесообразно из всей массы каменного материала отобрать наиболее важную часть

образцов по опорным разрезам (как рудным, так и безрудным) и анализировать их всеми доступными методами.

Выбор рационального комплекса лабораторных исследований во многом зависит от задач, стоящих перед геологом. Еще в начале полевого сезона в ходе рекогносцировочных маршрутов, одновременно с разработкой плана полевых работ, необходимо наметить примерный комплекс анализов, исходя из целесообразности их применения на данных конкретных объектах, а также из практических возможностей (лабораторная база). После полевого описания и отбора образцов, точно стратиграфически и территориально привязанных, а в ряде случаев и ориентированных в пространстве (для дополнительного изучения их текстурных особенностей) переходят к камерально-лабораторной обработке каменного материала. Рекомендуются следующий порядок работ:

1. Минералого-петрографическое изучение пород в штуфах, шлифах и пришлифовках с применением различных микрохимических реакций.

2. Гранулометрический анализ обломочной части осадочных пород для выяснения содержания различных размерных фракций и последующего изучения степени их окатанности, отсортированности и минерального состава.

3. Микроскопическое изучение минералов тяжелой и легкой фракций в иммерсионных препаратах и на столике Федорова (после разделения их жидкостью Туле — уд. вес 2,80 или бромформом — уд. вес 2,78—2,90).

4. Изучение химического состава пород и отдельных мономинеральных фракций, полученных после их выделения с использованием различных методик (центрифугирование, магнитная сепарация, тяжелые жидкости и др. с последующей разборкой фракций под бинокуляром или микроскопом).

5. Другие, специальные виды определений.

Примерная схема, иллюстрирующая последовательность операций при изучении минерального состава пород, приведена на рис. 12. Из схемы видно, что изучение минерального состава вмещающих пород с самого начала должно сопровождаться определением содержания урана в разных компонентах, слагающих породу. Этим самым можно установить, с какой частью породы, обломочной или цементирующей, и с какими минеральными видами или органогенными составляющими связано урановое оруденение.

Таким образом, первоначальными видами анализов, от которых во многом зависит выбор всех последующих, являются: а) визуальное и микроскопическое (в прозрачных шлифах) изучение образцов; б) радиометрический анализ порошковых проб, приготовленных из образцов; и в) спектральный и качественный микрохимический анализы.

По результатам радиометрического анализа штуфов и порошковых проб отбирают рудные штуфы для приготовления шлифов и получения с них контактных отпечатков на форматной рентгеновской пленке. Изучение таких отпечатков (радиографий и микрорадиографий), выполняемое параллельно с изучением текстурно-структурных особенностей и коллекторских свойств пород, дает ценные факты для суждения о генезисе уранового оруденения.

Среди многочисленных рудных текстур и структур всегда могут быть выделены такие, которые с той или иной степенью достоверности могут быть отнесены к ранним (седиментационным и диагенетическим — 1, 2, 3, 4 на рис. 5 и рис. 6) и к поздним (эпигенетическим — 5, 6 на рис. 5 и рис. 7) формам. Следует подчеркнуть, что классификация текстурно-структурных признаков по стадиям рудообразования и формирования пород, разработанная для какого-либо определенного типа вмещающих пород (например для известняков), не может быть механически перенесена на месторождения, локализованные в других типах вмещающих пород (песчаники морские или аллювиальные и др.). К сожалению, капитальных исследований по текстурам и структурам руд экзогенных месторождений вообще, и урановых в особенности, не имеется и могут быть упомянуты работы, в которых описаны главным образом руды эндогенных месторождений (см. литературу в конце IV главы, § 7).

Изучение прозрачных шлифов под микроскопом, помимо сведений о минералогическом составе породы и ее текстурно-структурных особенностях, дает возможность судить о целесообразности выполнения гранулометрического анализа, исследования структуры порового пространства и других определений.

Для разных типов вмещающих пород эффективность или возможность применения методов анализов, перечисленных в табл. 4, несколько различны. Так, например, гранулометрический анализ применим к породам сыпучим, слабо сцементированным или с растворимым карбонатным цементом. Пористость, напротив, легко определить у крепких пород и очень сложно — у пород слабосцементированных. Столь же различны и вопросы, решаемые с помощью этих анализов. Гранулометрический анализ позволяет судить об условиях накопления осадка, а определение пористости особенно важно для познания наиболее поздних стадий существования породы.

Урановые минералы экзогенных месторождений, особенно в неокисленных рудах, отличаются крайней дисперсностью, что весьма осложняет их изучение. Урановые черни и смолка, коффинит и другие минералы урана обычно находятся в

тесной ассоциации с органическим, фосфатным, глинистым веществом и различными минеральными коллоидами. Урановые минералы часто импрегнируют их, вследствие чего с трудом поддаются выделению и исследованию. Уран нередко также сорбируется этими компонентами осадочных пород или присутствует в форме трудноопределимых ураноорганических соединений, вследствие чего не образует собственных минералов. В зонах окисления и выветривания экзогенных месторождений обычно развивается комплекс вторичных минералов (ванадаты, фосфаты, арсенаты, карбонаты, сульфаты урана и др.), которые обладают достаточно определенными морфологическими, кристаллооптическими и другими свойствами и поэтому диагностируются сравнительно легко. Однако и здесь уран сорбируется гидроокислами железа и марганца, глинистыми минералами, аморфными разностями кремнезема (гниалит, опал) и другими коллоидами. Отмеченными особенностями вещественного состава руд экзогенных месторождений урана объясняется необходимость применения некоторых специфических методов исследования руд, таких, например, как электродиализ.

Будучи элементом с переменной валентностью, уран участвует в природных окислительно-восстановительных реакциях, чутко реагируя на изменения физико-химических условий в осадках и породах. Накопление урана в осадках водоемов становится возможным при отрицательных значениях  $E_h$ , которые возникают в илах, обогащенных органическим веществом. В породах уран может сравнительно легко переходить из подвижной шестивалентной — в малоподвижную четырехвалентную форму и обратно, что приводит к накоплению или выносу урана, либо к многократному его переотложению на локальных участках.

Этими особенностями урана как химического элемента вызывается необходимость определения в его рудах и омывающих их подземных водах величин  $pH$  и  $E_h$ , а также восстановительной емкости пород, содержания различных форм органического вещества, разновалентных форм железа, ванадия, серы и других компонентов, которые могут выступать в качестве восстановителей или окислителей урана. Такого рода исследования значительно облегчают решение вопросов генезиса уранового соединения в осадочных породах.

При изучении вещественного состава современных и древних ураноносных россыпей и ураноносных конгломератов одним из главных методов подготовки и исследования проб является шлиховой анализ.

Изложенные выше замечания относительно выбора методов лабораторных исследований не исчерпывают всех вопросов, возникающих в процессе изучения экзогенных месторож-

денный урана, но вместе с тем фиксируют внимание на необходимость дифференцированного подхода к тем или иным природным явлениям.

### МИКРОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ НА УРАН И ЭЛЕМЕНТЫ-СПУТНИКИ

Полевые литологические исследования, связанные с изучением ураноносных осадочных толщ, следует дополнять качественным микрохимическим анализом на сопутствующие элементы. Наиболее характерными спутниками урана в осадочных породах являются элементы, перечисленные в табл. 5. Некоторые из них встречаются в рудах урана в количествах, представляющих практический интерес. Другие могут служить дополнительными поисковыми критериями на уран, если они широко распространены в продуктивной толще (например фосфор, ванадий). Кроме того, изучение в поле особенностей распределения в породах урана и сопутствующих ему элементов, выполняемое одновременно с изучением текстурно-структурных признаков и деталей литологического состава этих пород, представляет большой интерес для решения вопроса о генезисе уранового оруденения.

Имеющаяся литература по полевым методам качественного и количественного химического анализа минералов и руд весьма обширна, а сами методы отличаются большим разнообразием. Наиболее распространены: микрохимический анализ в пробирках [1; 4; 8], капельный анализ на полосках фильтровальной бумаги [9]; перловый анализ и другие реакции, входящие в комплекс метода паяльной трубки [5]; анализ методом растирания сухих порошков [3]. В последние годы широкое распространение получают хроматографический [2; 7; 10], дитизоновый [6] и другие методы анализа.

Каждый из перечисленных методов служит для обнаружения определенной группы элементов. Ниже приведены характерные реакции лишь для наиболее важных спутников урана — V, Fe, Co, Mn, Cu, Mo, Ni, Pb, Se, Ag, P. Общие приемы качественного полумикрохимического и др. видов анализа изложены в рекомендуемой литературе. Здесь отметим лишь, что проба исследуемого минерала или породы (в виде порошка) должна составлять от 1 до 10—25 мг, а объемы растворов не должны превышать 1—3 мл. Если исследуемое вещество нерастворимо в воде и кислотах, то его предварительно разлагают сплавлением с содой или растиранием с хлоридно-нитратной смесью, являющейся сухим аналогом царской водки [3].

Ванадий (V). 1. Пробу сплавляют с содой в петле платиновой проволоки с помощью паяльной трубки. Сплав (перл) растворяют на часовом стекле в 2 мл воды; отстаив-

шийся раствор отсасывают капилляром через полоску фильтровальной бумаги. Фильтр помещают в пробирку и добавляют сначала  $\text{HCl}$  по каплям до кислой реакции (проверка лакмусовой бумажкой), а затем одну каплю раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$ . В присутствии  $\text{V}$  и  $\text{Ti}$  получается оранжевое или оранжево-красное окрашивание раствора. После добавления  $\text{NaF}$  окраска, вызванная  $\text{Ti}$ , исчезает, а  $\text{V}$  — сохраняется.

2. Диагностика уранованадатов. Крупинку минерала помещают на часовое стекло. Добавляют одну каплю  $\text{HCl}$  концентрированной. Получается ярко-красное окрашивание раствора, которое быстро исчезает, сменяясь светлым зеленовато-желтым (см. также [3, стр. 75; 4, стр. 39; 8, стр. 135; 9, стр. 202]).

Железо двухвалентное ( $\text{Fe}^{2+}$ ). К пробе прибавляют несколько кристалликов  $\text{KHSO}_4$ , смесь растирают и увлажняют дыханием. Добавляют 1—2 кристаллика  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  и снова растирают. Получается синяя окраска смеси [3, стр. 82].

Железо трехвалентное ( $\text{Fe}^{3+}$ ).

1. Исследуемое вещество +  $\text{KHSO}_4$  +  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Получается синее окрашивание смеси.

2. Исследуемое вещество +  $\text{KHSO}_4$  +  $\text{NH}_4\text{CNS}$ . Получается красно-бурое окрашивание. Обе реакции выполняют как и на  $\text{Fe}^{2+}$ . Так как окисы и сульфиды железа при растирании с  $\text{KHSO}_4$  не разлагаются, то для открытия в них железа проба должна быть предварительно разложена хлоридно-нитратной смесью [3, стр. 83].

3. К двум  $\text{mg}$  вещества пробы добавляют 4 капли  $\text{HCl}$  концентрированной и 2 капли  $\text{HNO}_3$  концентрированной. Смесь кипятят и разбавляют 5—6 каплями воды, после чего фильтруют. К фильтрату добавляют каплю раствора  $\text{NH}_4\text{CNS}$ . Жидкость в пробирке окрашивается в красный цвет, который обеспечивается от прибавления 2-3 капель раствора  $\text{SnCl}_2$ .

Кобальт ( $\text{Co}$ ). Пробу растворяют в  $\text{HCl}$ , добавляют 2—3 капли раствора  $\text{NH}_4\text{CNS}$  и по каплям — раствор  $\text{SnCl}_2$  до исчезновения красной окраски, вызванной присутствием железа. Добавляют несколько капель изоамилового спирта до образования тонкого его слоя. Встряхивают пробирку и дают раствору отстояться. При наличии  $\text{Co}$  слой спирта окрашивается в синий цвет. В присутствии  $\text{Mo}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{W}$  пробу дополнительно обрабатывают ацетатом свинца [4, стр. 68]. См. также [3, стр. 92; 8, стр. 80; 9, стр. 153].

Марганец ( $\text{Mn}$ ). Перл  $\text{NaF}$  с присадкой исследуемого вещества в присутствии  $\text{Mn}$  принимает окраску от зеленовато-белой через ярко-голубую до темно-синей или черной с синими жилками в зависимости от концентрации  $\text{Mn}$ . Реакция весьма чувствительна. Если перл окрашен посторонними примесями в бурый или другой цвет, то можно наблюдать голубые жилки и

пятна, обусловленные наличием Mn. См. также [9, стр. 150 и стр. 200; 3, стр. 98; 4, стр. 78; 8, стр. 67].

**М е д ь (Cu).** Пробу растворяют в  $\text{HNO}_3$  или  $\text{HCl}$  и добавляют  $\text{NH}_4\text{OH}$  по каплям до появления запаха. В присутствии Cu раствор окрашивается в синий цвет. Если исследуемое вещество содержит Fe, то образуются бурые хлопья  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , после оседания которых становится заметной синяя окраска раствора. См. также [3, стр. 100; 4, стр. 79; 8, стр. 109; 9, стр. 152].

**М о л и б д е н (Mo).** 1. К раствору исследуемого вещества в  $\text{HCl}$  добавляют 2—3 капли раствора  $\text{NH}_4\text{CNS}$  или  $\text{KCNS}$ . В присутствии Fe содержащее пробы окрашивается в красный цвет. Добавляют по каплям раствор  $\text{SnCl}_2$  и наблюдают результат реакции:

а) красная окраска сохраняется или становится интенсивней — Mo есть;

б) раствор обесцвечивается — Mo отсутствует.

2. Пробу растворяют в  $\text{HCl}$  и прибавляют крупинку этилксантогената калия. В присутствии молибдена образуется вишнево-красное окрашивание, которое через некоторое время бледнеет и исчезает. См. также [3, стр. 102; 4, стр. 84; 8, стр. 134 и 9, стр. 202].

**Н и к е л ь (Ni).** К пробе, растворенной в  $\text{HCl}$ , прибавляют по каплям  $\text{NH}_4\text{OH}$  до появления запаха и 5—10 капель раствора диметилглиоксима. В присутствии Ni образуется малиново-красный осадок, всплывающий кверху и не исчезающий от прибавления  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Примечание.  $\text{Fe}^{2+}$  в тех же условиях может дать красное окрашивание раствора (без выпадения осадка), исчезающее от прибавления нескольких капель  $\text{H}_2\text{O}_2$ . См. также [3, стр. 108; 4, стр. 92; 9, стр. 150].

**С в и н е ц (Pb).** Исследуемое вещество растворяют в  $\text{HNO}_3$  и прибавляют 1—2 капли раствора  $\text{KJ}$ . В присутствии Pb выпадает ярко-желтый осадок, растворяющийся в избытке  $\text{KJ}$ . См. также [3, стр. 121; 4, стр. 119; 8, стр. 104; 9, стр. 152].

**С е л е н (Se).** К пробе добавляют хлоридно-нитратную смесь (4—5-кратное количество) и нагревают в колбочке с «ловушкой», в которую помещена крупинка  $\text{SnCl}_2$ . При наличии в пробе Se в ловушке образуется красный налет [3, стр. 123]. См. также [4, стр. 121; 8, стр. 131 и 9, стр. 202].

**С е р е б р о (Ag).** Пробу растворяют в  $\text{HNO}_3$  и фильтруют. К фильтрату добавляют 1—2 капли  $\text{HCl}$ . В присутствии Ag выпадает белый творожистый осадок, который растворяется в избытке  $\text{NH}_4\text{OH}$  [8, стр. 88]. См. также [3, стр. 125; 4, стр. 127 и 9, стр. 151].

**У р а н (U).** Лучшим способом открытия U является перлово-люминесцентный (см. соответствующий раздел данной книги). При достаточно высоких содержаниях U в пробах его можно открыть по реакции с ферроцианидом калия. Для этого на

полоску фильтровальной бумаги пипеткой наносят по одной капле следующих растворов:  $KJ +$  раствор исследуемого вещества  $+ KJ + Na_2S_2O_3 + K_4[Fe(CN)_6]$ . В присутствии U образуется бурое пятно или кольцо [9, стр. 153]. См. также [3, стр. 132; 4, стр. 146; 8, стр. 130].

**Фосфор (P).** На порошковую пробу, помещенную на часовое стекло, или прямо на штупф породы наносят каплю раствора молибденовокислого аммония. В присутствии фосфора постепенно образуется ярко-желтый осадок. Реакцию выполняют на холоде. Мышьяк дает такой же эффект, но лишь при кипячении смеси. См. также [3, стр. 133; 4, стр. 150; 8, стр. 191; 9, стр. 201].

Для некоторых типов экзогенных месторождений урана характерен несколько иной комплекс сопутствующих элементов. Так в рудах уранугольных месторождений нередко присутствует германий, в древних конгломератах и в россыпях обычных минералы, в которых уран ассоциируется с Nb, Ta, Ti, Th, TR, Zr. Ниже приводятся соответствующие ссылки на литературные источники, где подробно разбираются микрохимические реакции на эти элементы:

Германий (Ge) — [4, стр. 54]. Мышьяк (As) — [3, стр. 105; 4, стр. 91; 8, стр. 189; 9, стр. 201]. Ниобий (Nb) и Тантал (Ta) — [4, стр. 97]. Редкоземельные элементы (TR) — [4, стр. 109]. Титан (Ti) — [3, стр. 131; 4, стр. 141; 8, стр. 129; 9, стр. 152]. Торий (Th) — [4, стр. 114]. Хром (Cr) — [3, стр. 135; 4, стр. 157; 8, стр. 68; 9, стр. 81, стр. 150 и стр. 199]. Цинк (Zn) — [3, стр. 137; 4, стр. 163; 8, стр. 61; 9, стр. 150]. Цирконий (Zr) — [4, стр. 164; 8, стр. 128; 9, стр. 152].

Реактивы, необходимые для проведения перечисленных микрохимических реакций:

- Аммония гидрат окиси (спирт нашатырный)  $NH_4OH$  — 25% раствор.
- Аммоний молибденовокислый  $(NH_4)_2MoO_4$ . Реактив составляется из 3 г молибденовокислого аммония + 6 мл воды + 20 мл  $HNO_3$  (1:1).
- Аммоний роданистый  $NH_4CNS$  (или  $KSNS$ ) — 50% раствор.
- Водорода перекись  $H_2O_2$  — 3% раствор.
- Диметилглиоксим  $C_4H_8O_2N_2$  — насыщенный спиртовой раствор.
- Калия бисульфат  $KHSO_4$  — в порошке.
- Калия феррицианид  $K_3[Fe(CN)_6]$  — 0,5 нормальный раствор (54,8 г/л).
- Калия ферроцианид  $K_4[Fe(CN)_6]$  — 0,5 нормальный раствор (52,8 г/л).
- Калий йодистый  $KJ$  — 166 г/л.
- Калий этилксантогенат  $SC(SK)(OC_2H_5)$  — в порошке.
- Кислота азотная  $HNO_3$  — концентрированная и 6 нормального раствора (2 объема воды + 1 объем  $HNO_3$  концентрированной).
- Кислота соляная  $HCl$  — конц. 1:1.
- Натрия тиосульфат  $Na_2S_2O_3$  — насыщенный раствор.
- Натрий углекислый  $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$  — в порошке.
- Натрий фтористый  $NaF$  — в порошке.
- Олово двуххлористое  $SnCl_2$  — 20% раствор (20 г соли + 0,5 г металлического  $Sn$  + 20 мл  $HCl$  (1:1), кипятят смесь, разбавляют водой до 100 мл, фильтруют + кусочек металлического  $Sn$  на дно склянки).
- Свинца ацетат  $Pb(C_2H_3O_2) \cdot 3H_2O$  — нормальный раствор (189,7 г/л).
- Спирт амиловый или изоамиловый (яд, пары ядовиты).

Хлоридно-нитратная смесь — 1 часть  $\text{NH}_4\text{Cl}$  + 2,5 части  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — в порошке.  
Цинковая пластинка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. АЛИМАРИН И. П. и АРХАНГЕЛЬСКАЯ В. Н. Качественный полумикрохимический анализ. Госхимиздат. М.—Л., 1949.
2. БЛОК Р., ЛЕСТРАЖ Р. и ЦВЕЙГ Г. Хроматография на бумаге. Изд. иностр. литературы, М., 1954.
3. ИСАКОВ П. М. Качественный анализ руд и минералов методом растирания порошков. Госгеолтехиздат, М., 1955.
4. НАЗАРЕНКО В. А. и ПОЛУЭКТОВ Н. С. Полумикрохимический анализ минералов и руд. Госхимиздат, 1954.
5. ПИЛИПЕНКО П. П. и КАЛИНИН П. В. Определитель минералов при помощи паяльной трубки. Госгеолтехиздат, М., 1947.
6. ПОКРОВСКАЯ А. И. Ускоренный метод определения меди, цинка и свинца в силикатных породах и рудах с применением дитизона. В кн. «Методы изучения осадочных пород», том II, Госгеолтехиздат, М., 1957.
7. САМУЭЛЬСОН О. Применение ионного обмена в аналитической химии. Изд. иностр. литературы, М., 1955.
8. ТАНАНАЕВ Н. А. Дробный анализ. Госхимиздат, 1950.
9. ТАНАНАЕВ Н. А. Капельный метод. Госхимиздат, М.—Л., 1954.
10. ШЕМЯКИН Ф. М., МИЦЕЛОВСКИЙ Э. С. и РОМАНОВ Д. В. Хроматографический анализ. Госхимиздат, М., 1955.
11. МАРКОВ В. К., ВИНОГРАДОВ А. В., ЕЛИНСОН С. В., КЛЫГИН А. Е., МОИСЕЕВ И. В. Уран и методы его определения. Госатомиздат, М., 1960.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ

Наряду с различными формами железа и карбонатным материалом органическое вещество относится к числу важнейших компонентов породы, определяющих ее геохимический облик. Обладая активно проявляющимися восстановительными свойствами, органическое вещество в различные стадии формирования и преобразования пород способствует накоплению или миграции химических элементов, их переходу из одних минералогических форм в другие.

Точное определение суммарного количества и различных форм органического вещества пород является задачей микро-битуминологического анализа, предполагающего определение свободного и связанного битума, гуминовых кислот, остаточного органического вещества («углистого» остатка) и элементарный анализ (определение С, Н, N, S и О). Проведение указанного комплекса определений является весьма трудоемкой и сложной задачей и применяется сравнительно редко. Обычно ограничиваются определением содержания

углерода, который служит показателем суммарного количества органического вещества.

Одним из наиболее распространенных является метод определения содержания органического углерода посредством «мокрого сжигания» в аппарате Кноппа-Фрезениуса. Сущность метода состоит в окислении органического вещества до  $\text{CO}_2$  хромовым ангидритом в присутствии серной кислоты.

Образующаяся при этом  $\text{CO}_2$  улавливается в специальных поглотительных трубках.

Для того, чтобы смонтировать один аппарат Кноппа-Фрезениуса, необходимо следующее оборудование:

- |   |       |
|---|-------|
| 1. U-образные трубки . . . . .  | 6 шт. |
| 2. Кали-аппарат . . . . .   | 1 шт. |
| 3. Склянка Дрекслея . . . . .   | 1 шт. |
| 4. Хлоркальциевая колонка Фрезениуса . . . . .  | 1 шт. |
| 5. Змеевиковый или шариковый холодильник . . . . .  | 1 шт. |
| 6. Капельная воронка . . . . .  | 1 шт. |
| 7. Колба жаростойкая коническая объемом в 250 мл с запасом соответствующих пробок . . . . .       | 1 шт. |
| 8. Аспиратор на 5—10 л . . . . .  | 1 шт. |
| 9. Краники стеклянные . . . . .   | 2 шт. |
| 10. Зажимы винтовые . . . . .   | 2 шт. |
| 11. Шланги вакуумные каучуковые диаметром в 0,5, 0,7 и 1 см — по 2—3 метра каждого вида . . . . . |       |
| 12. Очки защитные. . . . .  | 1 шт. |

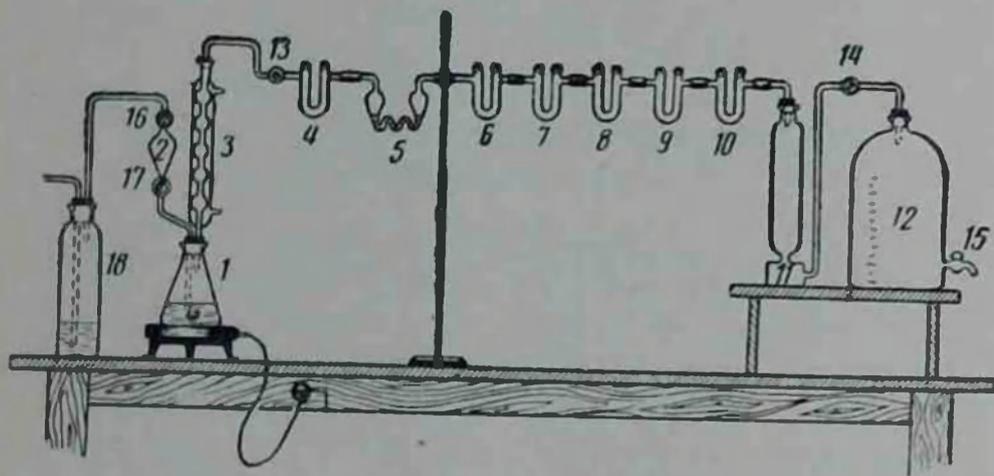
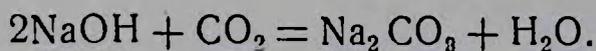


Рис. 14. Аппарат Кноппа-Фрезениуса для определения  $\text{CO}_2$  и  $\text{C}_{\text{орг}}$ :

1 — колба жаропрочная; 2 — капельная воронка; 3 — холодильник; 4 — трубка U-образная с железной стружкой; 5 — кали-аппарат с  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; 6 — трубка U-образная с фосфорным ангидритом; 7 — то же, с безводным сульфатом меди; 8—10 — то же, с аскаритом; 11 — колонка хлоркальциевая; 12 — аспиратор; 13—17 — краны стеклянные; 18 — Дрекслея склянка с  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Общий вид аппарата в рабочем состоянии изображен на рис. 14. Коническая колба 1 закрывается хорошо подогнанной каучуковой пробкой, имеющей два отверстия. В одно из

этих отверстий вставлена капельная воронка 2, трубка которой доходит до дна колбы, причем конец ее загнут кверху, чтобы избежать попадания в трубку пузырьков  $\text{CO}_2$ . В другое отверстие вставляется змеевиковый или шариковый холодильник 3, который другим своим концом соединен с U-образной трубкой 4, заполненной железной стружкой. Назначение последней — связывать образующийся при разложении породы хлор. Далее следует кали-аппарат 5, содержащий концентрированную серную кислоту, служащую для высушивания двуокиси углерода. Следующая U-образная трубка 6 с фосфорнокислым ангидридом предназначена также для поглощения влаги. U-образная трубка 7 заполнена безводным сульфатом меди, назначение которого — улавливать хлористый водород и сероводород, образующиеся при разложении серной кислотой сульфидов, обычно присутствующих в породе. U-образные трубки 8 и 9 служат для поглощения  $\text{CO}_2$ . Каждая из них заполнена аскаритом\*. Реакция поглощения состоит в следующем



Для защиты поглотительных трубок от  $\text{CO}_2$  воздуха со стороны аспиратора установлена еще одна U-образная трубка 10, наполненная аскаритом. Для защиты от водяных паров установлена колонка 11 с безводным хлористым кальцием. Аспиратор 12 служит для просасывания воздуха или газов, образующихся в ходе анализа, через прибор. На входе устанавливается дрексель 18 с концентрированной серной кислотой, которая служит для высушивания всасываемого воздуха. Дрексель соединен с капельной воронкой.

Приступая к анализу, предварительно действием соляной кислоты разлагают карбонаты и отгоняют  $\text{CO}_2$ . После полного удаления  $\text{CO}_2$  колбу, в которой производится разложение навески породы, подключают к аппарату. Перед работой аппарат обязательно проверяется на герметичность. Для этого, открыв зажимы 15, 14 и 13, оставляют закрытыми краны капельной воронки. Вскоре после установления в приборе соответствующего разряжения воздуха вытекание воды из аспиратора почти прекратится. Аппарат считается герметичным, если скорость высасывания воды из аспиратора не более 1 капли в течение 60 сек.

Не присоединяя к прибору поглотительных трубок 8 и 9, при слабом нагревании колбы, одновременно с пуском в холодильник воды, пропускают через прибор воздух. Для этого открывают сначала нижний 17, потом верхний 16 краны капельной воронки, регулируя ток воздуха так, чтобы можно

\* Аскарит — асбест, пропитанный  $\text{NaOH}$ .

было считать пузырьки в кали-аппарате. Через 1 час перекрывают краны и зажимы 16, 17, 13 и 14. К аппарату подключают поглотительные трубки с аскаритом и снова проверяют всю систему на герметичность.

В колбу, где производится разложение навески, из капельной воронки начинают постепенно приливать разбавленную серную кислоту (1 : 1), а затем небольшими порциями в 10—20 мл водный раствор хромового ангидрида (50 г  $\text{CrO}_3$  в 100 мл воды). Когда реакция окисления углерода заметно замедлится, о чем судят по замедлению или прекращению выделения пузырьков в кали-аппарате, полученную в колбе смесь кипятят до прекращения выделения пузырьков в кали-аппарате. Включают воздух и продолжают кипячение еще 30 мин. Убрав подогрев, продолжают пропускать воздух. Через 1,5 часа закрывают все краны и зажимы и отключают поглотительные трубки. Через 20 мин трубки с аскаритом взвешиваются. По привесу углекислоты высчитывают содержание углерода. Пересчетный коэффициент, учитывая атомный вес углерода и молекулярный вес углекислого газа, равен  $\frac{12}{44} = 0,2727$ .

Содержание углерода высчитывается по формуле

$$\% C = \frac{p \cdot 0,2727 \cdot 100}{P}, \quad (1)$$

где:  $p$  — привес в поглотительных трубках;

$P$  — навеска породы;

$C$  — содержание органического углерода.

При определении содержания органического углерода необходим «слепой» опыт — анализ без навески породы. При этом опыте определяется поправка на герметичность аппарата, чистоту реактива и углекислоту воздуха, наполняющего аппарат. Величина поправки вычитается из результатов, полученных при определении органического углерода. Поэтому формула, по которой высчитывается содержание углерода, в окончательном виде пишется следующим образом:

$$\% C = \frac{(p - p_1) \cdot 0,2727 \cdot 100}{P}, \quad (2)$$

где:  $p_1$  — поправка на герметичность и пр.

Вторая поглотительная трубка 9 является контрольной. Привес в ней не должен превышать 0,0010 г. Большой привес в контрольной трубке указывает на ненормальные условия анализа, в частности, чрезмерно бурную реакцию разложения породы в колбе.

Другим средством контроля правильности анализа служат повторные определения из одной и той же пробы. Расходимость полученных результатов не должна превышать 0,05%. Таким путем проверяется до 30% определений.

Навеска породы берется в зависимости от предполагаемого содержания углерода, но не больше 1 г, что позволяет анализировать породы с содержанием органического углерода меньше 3%. Если ожидаемое содержание углерода больше 10%, можно ограничиться навеской в 0,2 г. Чаще всего для анализа берется 0,5 г.

Чувствительность метода 0,01%. Производительность в среднем 6 определений в день при одновременной работе 4 аппаратов.

Нужно учитывать, что степень окисляемости органических веществ неодинакова и зависит как от типа органического вещества, так и от степени его метаморфизации. Если органическое вещество породы углистого типа, то полное окисление действием хромового ангидрида в присутствии серной кислоты возможно лишь для небольших его количеств (1—3%), причем угли антрацитового типа такому окислению почти не поддаются. В таких случаях рекомендуется добавочная обработка породы фосфорной кислотой.

## ЛИТЕРАТУРА

Методы изучения осадочных пород. Том II, Госгеолгиздат, М., 1957.  
ПОНОМАРЕВ А. И. Методы химического анализа минералов и горных пород. Том I. Изд. АН СССР, М., 1951.

---

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ CO<sub>2</sub> В КАРБОНАТАХ

Анализ производится в аппарате Кноппа-Фрезениуса, который применяется также для определения содержаний органического углерода (рис. 14). Этот аппарат не требует никакого переоборудования. Сущность метода состоит в том, что навеску породы разлагают разбавленной соляной кислотой, а образующийся при этом углекислый газ (CO<sub>2</sub>) задерживается в поглотительных трубках.

Перед началом анализа полезно произвести качественное испытание на присутствие в анализируемой пробе карбонатов. Это дает возможность правильно определить величину необходимой навески породы, отчего в значительной мере зависит точность определения. Для этого в пробирку помещают небольшое количество измельченной пробы, приливают воды и кипятят для удаления воздуха; затем охлаждают и приливают

разбавленную соляную кислоту. По интенсивности вскипания можно судить о степени карбонатности.

Приступая к анализу, необходимо, как и при определении органического углерода, аппарат проверить на герметичность, после чего в колбу прибора помещают 1—5 г измельченной пробы, приливают воды такое количество, чтобы нижний конец трубки капельной воронки погрузился в воду и, отсоединив от прибора поглотительные трубки, включают воздух (см. определение органического углерода). Воздух медленно пропускается через аппарат в течение 20—25 мин. Делается это для удаления из прибора атмосферного  $\text{CO}_2$ , попавшего туда при всыпании в колбу навески пробы. Одновременно в холодильник пускают воду, чтобы конденсировать пары воды. Выключив воздух, устанавливают поглотительные трубки.

Наливают в капельную воронку 15—20 мл 10%  $\text{HCl}$  и затем по каплям начинают приливать ее в колбу так, чтобы скорость прохождения  $\text{CO}_2$  через кали-аппарат не превышала 2—3 пузырька в секунду. Если кислота из воронки плохо выливается, нужно при закрытом кране 16 (рис. 14) включить аспиратор и создать небольшое разрежение в колбе, после чего выключить аспиратор.

Когда вся кислота будет переведена в колбу и замедлится выделение  $\text{CO}_2$ , закрывают кран 17 капельной воронки, и содержимое колбы медленно нагревают до непрерывного спокойного кипения.

Включив аспиратор, открывают все зажимы и краны, установив через прибор поток газа со скоростью 2 пузырьков в сек. После 15—20 мин кипячения убирают нагрев, и, следя за тем, чтобы воздух проходил через прибор со скоростью 2 пузырьков в сек, продолжают пропускать воздух в течение 50 мин. В результате находящийся в приборе  $\text{CO}_2$  будет также переведен в поглотительные трубки. После этого закрывают все краны и зажимы, отсоединяют от прибора поглотительные трубки, помещают их на 30—40 мин в шкафчик весов и затем взвешивают.

Содержание  $\text{CO}_2$  в пробе рассчитывается по привесу в поглотительных трубках по формуле

$$\% \text{CO}_2 = \frac{n \cdot 100}{m},$$

где:  $m$  — навеска породы;

$n$  — привес в поглотительных трубках.

Точность метода  $\pm 0,2\%$ . Необходимо некоторое количество проб подвергать повторным определениям в разных аппаратах.

Продолжительность пользования поглотительными трубками определяется их привесом: трубкой прекращают поль-

зоваться, когда привес ее достигнет 0,3 г. Кроме того, пригодность поглотительных трубок можно определять и другим способом. При поглощении  $\text{CO}_2$  аскарит покрывается слоем соды и белеет, поэтому граница между отработанным аскаритом и годным видна довольно отчетливо. Когда слой годного аскарита уменьшится до 3—4 см, трубку снимают и заменяют другой.

Перезарядка кали-аппарата производится, когда объем кислоты в нем увеличивается примерно на 1/3, а перезарядка трубки 10 и колонки Фрезениуса — 1 раз в месяц.

## ЛИТЕРАТУРА

ПОНОМАРЕВ А. И. Методы химического анализа минералов и горных пород. Том I. Изд. АН СССР, 1951.

---

## ЭКСТРАГИРОВАНИЕ НЕФТИ И БИТУМОВ ИЗ ОБРАЗЦОВ

Для определения проницаемости и пористости осадочных горных пород и для некоторых других видов исследований требуется, чтобы исследуемые образцы не содержали нефти и битумов. Очистку образцов, содержащих эти компоненты, выполняют в аппаратах Закса, предназначенных для экстрагирования нефти, битумов и воды. Схема аппарата Закса (ЛП-4) дана на рис. 15. Аппараты монтируются в батарее по несколько штук вместе в вытяжном шкафу. Нижний боковой отвод холодильника первого аппарата соединяют резиновой трубкой с водопроводным краном, а верхний отвод — с нижним отводом холодильника второго аппарата и т. д. Резиновую трубку от верхнего отвода последнего холодильника направляют в сточную раковину. Колбы аппаратов Закса помещают над электроплитами. Перед пуском установки колбу 1 каждого аппарата заполняют до половины хлороформом. Гильзу 4 с образцом помещают в горло колбы, вставляют приемник 2, а в горло колбы приемника — холодильник 3. Пускают воду и, когда во всей системе охлаждения установится поток воды, включают печь. Колбы нагревают до такой температуры, чтобы растворитель покрывал образцы, но не переливался через края гильз. Экстрагирование нефти и битумов считают законченным, когда растворитель в приемнике и в гильзе становится совершенно прозрачным, а капля его, помещенная на предметное стекло, не оставляет пятна при испарении. Если образцы

сильно пропитаны нефтью, то их предварительно помещают на несколько часов в стеклянную банку на 1000 мл с притертой пробкой, наполненную хлороформом. Эту операцию выполняют 2—3 раза, в результате чего

достигается удаление большей части нефти из образцов. Остатки нефти и битумов извлекают в аппаратах Закса. При отсутствии аппаратов Закса экстрагирование от начала до конца выполняют в банках, но увеличивают время и несколько раз меняют растворитель. Загрязненный растворитель сливают в отдельную бутылку, а впоследствии регенерируют его с помощью перегонного аппарата, состоящего из колбы с холодильником и приемником. Преимущество хлороформа перед другими органическими растворителями заключается в том, что он негорюч. Хлороформ хранят в темном месте, так как на свету он разлагается с выделением фосгена.

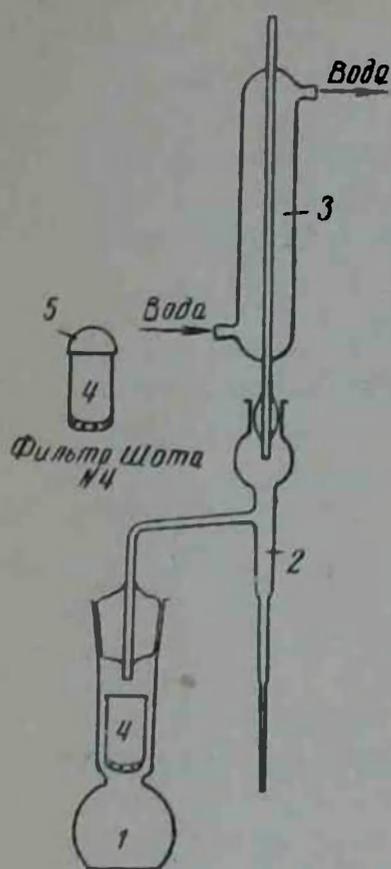


Рис. 15. Аппарат Закса:

1 — колба; 2 — приемник; 3 — обратный холодильник; 4 — гильза с дном из пористого стекла (фильтр Шотта), 5 — проволочная дужка.

## ЛИТЕРАТУРА

Методы исследования кернов. Редактор Максимович Г. К. Гостоптехиздат, М., 1948.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

При изучении рудовмещающих пород экзогенных месторождений урана обращает на себя внимание тот факт, что уран обычно связан с породами, содержащими в том или ином количестве органическое вещество различного состава, сульфиды металлов, прежде всего пирит, марказит, мельниковит и другие минеральные образования, находящиеся в состоянии восстановленности.

Самое общее впечатление о степени восстановленности породы обычно получают по ее окраске. Темно-серый, почти чер-

ный, темно-зеленый разных оттенков цвет пород принимается за признак их максимальной восстановленности, светло-серые — становленности, а желтые, бурые разных оттенков — рассматриваются с точки зрения большей или меньшей степени окисленности пород.

Для количественной оценки степени восстановленности породы неоднократно делались попытки использовать различные отношения в ней элементов с переменной валентностью прежде всего железа, а также марганца, ванадия, серы и др. Например, породы с отношением  $Fe/Fe^{3+}$  больше 1 принято считать восстановленными. Таким образом, по величине этого коэффициента давалась характеристика степени восстановленности или окисленности породы. Такой подход к оценке состояния породы, как показали многочисленные эксперименты, не может быть признан удовлетворительным. Не может являться показателем восстановленности и абсолютное содержание в породах органического вещества, выражающееся обычно содержанием органического углерода —  $C_{орг}$ . В ряде случаев, при ничтожном содержании в породах  $C_{орг}$ , степень их восстановленности оказывается достаточно высокой, в то время как столь же малое содержание органического углерода характерно и для пород, в сильной степени окисленных, например для красноцветов.

Геохимическая обстановка бассейна осадконакопления на терригенно-обломочном комплексе не отражается. Состояние органических компонентов зависит от геохимической обстановки как в период их накопления и диагенеза, так и в последующую стадию их эпигенетического преобразования [2]. Комплекс органических соединений в осадочных породах настолько сложен и слабо изучен, что определение исходного их состояния в осадках не всегда выполнимо. В силу этих обстоятельств использование окислительно-восстановительной характеристики органического материала осадочных пород для выяснения геохимической обстановки ранних стадий образования пород (седиментогенез и диагенез) не дает желаемых результатов. Образование и свойства аутигенных минералов целиком определяются геохимическими условиями в бассейне осадконакопления. Поэтому И. А. Юркевичем [5] за меру восстановительной емкости пород принято «... количество кислорода, потребного для окисления восстановленных минеральных компонентов подвижного комплекса породы...», в состав которого могут входить различные сульфиды, закисные соединения элементов с переменной валентностью. Удельное значение каждого из этих соединений в уровне величины восстановительной емкости зависит от содержания его в породе и от характера составляющих его элементов. При равных прочих условиях доминирующее значение принадлежит сульфидам. Необ-

ходимо вместе с тем учитывать и вероятность дальнейшего преобразования комплекса аутигенных минералов в стадию эпигенеза, что подчеркивается в работах Н. М. Страхова [4].

Определение восстановительной емкости, при использовании смеси сильного окислителя — хромового ангидрида с серной кислотой, проводилось почвоведом и нефтяниками. Методика определения восстановительной емкости пород не может считаться до сих пор достаточно разработанной. Многочисленные эксперименты, проведенные в последние годы И. А. Юркевичем в связи с фашиально-геохимическими исследованиями в различных районах СССР, позволили уточнить наиболее благоприятные условия производства определений. И. А. Юркевич [5] нашел, что достаточное полное окисление различных органических веществ и восстановленных минеральных соединений при относительно невысокой температуре ( $130^{\circ}\text{C}$ ) достигается применением смеси растворов хромового ангидрида и 0,5-нормального раствора серной кислоты 2:1 и продолжительности окисления в течение примерно 4 часов. В этих условиях даже такие углеродистые соединения, как антрацит и графит, окисляются до  $\text{CO}_2$  примерно на 86—90%, а менее метаморфизованное органическое вещество подвергается фактически полному окислению; полностью разлагается и окисляется пирит и другие близкие к нему по устойчивости восстановленные минеральные компоненты.

Определение восстановительной емкости пород слагается из трех основных приемов анализа, выполняемых в следующей последовательности:

1 — определение общего расхода кислорода на окисление органических и восстановленных минеральных компонентов породы.

2 — аналитические операции, ведущие к освобождению породы от восстановленного минерального комплекса.

3 — определение расхода кислорода на окисление органического материала, оставшегося в породе после удаления из нее восстановленных минеральных компонентов.

Восстановительная емкость вычисляется по разности между результатами общего окисления пробы натуральной породы и пробы, полученной после удаления восстановленных минеральных компонентов. Если исследователь не заинтересован в изучении изменений восстановительной емкости в области низких значений, то такого рода образцы могут быть исключены из дальнейшего хода анализа, так как принадлежность их к группе невосстановленных пород вполне определяется по результатам общего окисления. К такой категории относятся все пробы, в которых расход кислорода на общее окисление не превышает  $0,5 \frac{\text{мг O}_2}{100}$ .

Подробный ход анализа при определении восстановительной емкости пород изложен в работе И. А. Юркевича.

Заслуживает большого внимания метод определения окислительно-восстановительной емкости пород по падению потенциала окислителя, разработанный недавно Л. С. Евсеевой и Н. П. Фоминой [3]. Он является более экспрессным, чем описанный выше метод И. А. Юркевича, и может легко применяться в полевых условиях. В его основу положен принцип методики Д. Бардоши и М. Бода [1], заключающийся в том, что порода подвергается действию сильного окислителя и по падению потенциала последнего оценивается сравнительная окислительно-восстановительная емкость данной породы. Эта величина, названная приведенным потенциалом породы, обозначается индексом  $\Delta E_h$  и выражается в милливольтгах.

В качестве окислителя применяют раствор перманганата калия ( $KMnO_4$ ) концентрации 0,1 N в щелочной среде. Для приготовления такого раствора навеску  $KMnO_4$  весом в 5,268 г растворяют в одном литре дистиллированной воды. Раствор хранят в бутылки из темного стекла и выдерживают не менее 7—10 дней до начала работы. 1 г тонкоистертой породы помещают в стаканчик емкостью 100 мл, заливают 100 мл раствора перманганата, в который добавляется 2 мл 10% раствора KOH, и тщательно перемешивают стеклянной палочкой. В такой же стаканчик без породы наливают исходный раствор перманганата с едкой щелочью, который при замерах служит эталоном. Опыт можно производить одновременно с 20—30 пробами. Замеры потенциалов производят на потенциометре ЛП-5 или ЛП-58 платиновым и каломельным электродами. Electroды обычно хранят в стаканчике с дистиллированной водой и примерно один раз в месяц вымачивают в слабом растворе соляной кислоты. Правильность показаний электродов периодически проверяется по буферному раствору, который приготавливают следующим образом: в одном литре бидистиллированной воды растворяют 1/300 моля красной кровяной соли, 1/300 моля желтой кровяной соли и 1/10 моля KCl. Electroды считаются пригодными тогда, когда при измерении буферной смеси они показывают  $430 \pm 5$  мв. Замеры потенциалов растворов с породой и эталонного раствора окислителя производят через 1 час, 3 часа и 5 часов. Перед замерами содержимое стаканчиков перемешивают стеклянной палочкой. Каждый замер выполняют 3—4 раза до достижения постоянных показаний стрелки гальванометра. Обычно это достигается в течение 2—3 мин. Показания, полученные при измерении раствора с пробой породы, вычитают из показаний, полученных через этот же промежуток времени при измерении эталонного раствора. Из этих значений, полученных через 1, 3 и 5 часов, выбирают максимальное. Эта величина и является приведенным окислительно-восстановительным потенциалом породы.

Изучение окислительно-восстановительной емкости в совокупности с другими методами исследования помогает гораздо полнее и глубже распознать многие, до сих пор еще слабо изученные процессы эпигенетического изменения осадочных пород.

Особенно важно использование этого метода при изучении эпигенетических рудных залежей. Л. С. Евсеевой и Н. П. Фоминой установлено, что в ураноносных углисто-карбонатных и других породах, в которых концентрация урана возникла заведомо эпигенетическим путем, содержание урана прямо пропорционально их окислительно-восстановительной емкости (рис. 16).

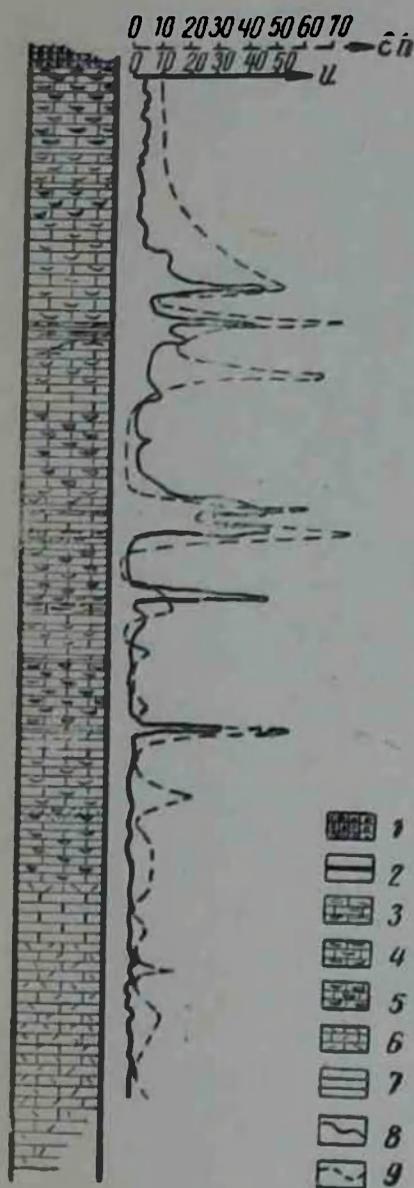


Рис. 16. Соотношение урана и окислительно-восстановительных свойств пород в разрезе углисто-карбонатной свиты:

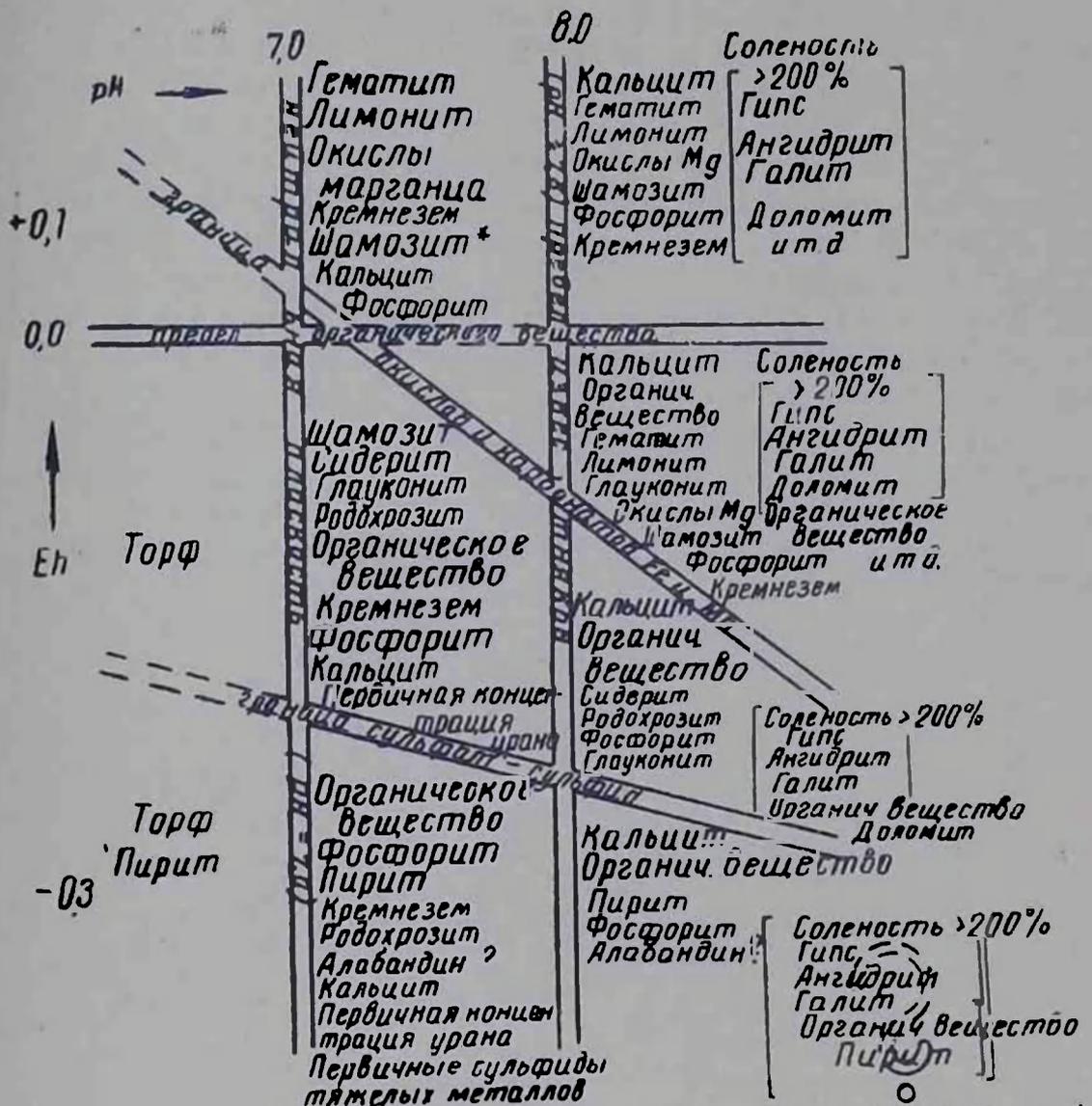
1 — песч. мел с гравием; 2 — угольные прослойки; 3 — известняк афанитовый углисто-глинистый; 4 — известняк детритовый массивный; 5 — известняк детритовый выщелоченный; 6 — известняк кристаллический; 7 — кремнистые прослойки; 8 — содержание урана в породах; 9 — приведенный окислительно-восстановительный потенциал пород, мв.

## ЛИТЕРАТУРА

1. БАРДОШИ Д., БОД М. Новый метод измерений окислительно-восстановительных свойств осадочных пород. «Геохимия», № 3, 1960.
2. ВЕБЕР В. В. Преобразование органического вещества. В сб. «Накопление и преобразование органического вещества в современных морских осадках». Гостоптехиздат, М., 1956.
3. ЕВСЕЕВА Л. С., ПЕРЕЛЬМАН А. И. Геохимия урана в зоне гипергенеза. Госатомиздат, 1962.
4. СТРАХОВ Н. М. Химическое изучение осадочных пород в генетических и корреляционных целях. В кн. «Методы изучения осадочных пород». Том II, Гостоптехиздат, М., 1957.
5. ЮРКЕВИЧ И. А. Исследования по методике фациально-геохимического изучения осадочных пород. Изд. АН СССР, М., 1958.

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ pH и Eh

Аутигенные минералы осадочных горных пород представляют собой продукты сложных и разнообразных химических и биохимических процессов, протекавших в осадках и продолжающихся в консолидированных породах. Условия образования и сохранности тех или иных аутигенных минералов определяются физико-химическими параметрами среды и, в первую



\* Использованный здесь шамозит представляет собой осадочные силикаты железа

Рис. 17. Ассоциация осадочных конечных химических продуктов в зависимости от значения Eh и pH среды осадкообразования. Ассоциации, показанные в квадратных скобках, относятся к рассолам (по В. С. Крумбейну и Р. М. Гаррелсу, 1960).

очередь, значениями рН и Eh [2, 3, 4]. Совершенно ясно, поэтому, важность определения этих величин для понимания процессов формирования осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых. Первая из этих величин — рН, или концентрация водородных ионов, характеризует реакцию среды от максимально кислой (рН = 1) до максимально щелочной (рН = 14). Окислительно-восстановительный потенциал Eh, измеряемый в милливольтгах, отражает состояние химического равновесия систем, в которых идут окислительно-восстановительные процессы.

Известны колориметрические и электрометрические методы определения рН и Eh [1, 4, 5]. Последние дают более точные результаты.

Непосредственное измерение величин рН и Eh в подземных водах или в суспензиях пород может быть использовано лишь для суждения о современных процессах, протекающих в этих породах, но не для реконструкции условий в древних осадках, так как «та величина Eh, которая замеряется в породе, представляет собой конечное значение Eh, к которому пришли осадок и порода в ходе своего развития» [6, стр. 168]. В результате экспериментальных исследований, проведенных как в СССР, так и за рубежом, для многих химических соединений, отвечающих по своему составу природным минералам, найдены поля устойчивости в координатах рН и Eh (рис. 17). Поэтому представления о физико-химических условиях среды осадконакопления в древних водоемах можно получить косвенным путем, изучая ассоциации аутигенных минералов осадочных пород, как это показано Н. М. Страховым [6], В. С. Крумбейном и Р. М. Гаррелсом [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. КАРЮКИНА В. И. Определение рН суспензий минералов. Госгеолиздат, М., 1953.
2. КРУМБЕЙН В. С. и ГАРРЕЛС Р. М. Происхождение и классификация химических осадков в зависимости от рН и окислительно-восстановительных потенциалов. В кн. «Термодинамика геохимических процессов». Изд. иностр. литературы, М., 1960.
3. ЛИСТОВА Л. П. Физико-химические исследования условий образования окисных и карбонатных руд марганца. Изд. АН СССР, М., 1961.
4. ПУСТОВАЛОВ Л. В. и СОКОЛОВА Е. И. Методы определения рН и Eh в осадочных породах. В кн. «Методы изучения осадочных пород». Том II. Госгеолтехиздат, М., 1957.
5. СОКОЛОВА Е. И. Физико-химическая характеристика некоторых осадочных железных и марганцевых руд и вмещающих их пород. В кн. «Вопросы седиментологии». (Доклады советских геологов к VI Международному конгрессу по седиментологии). Госгеолтехиздат, М., 1960.
6. СТРАХОВ Н. М. Химическое изучение осадочных пород в генетических и корреляционных целях. В кн. «Методы изучения осадочных пород». Том II, Гостоптехиздат, М., 1957.

## ЭЛЕКТРОДИАЛИЗ

Е. В. Рожкова и М. Б. Серебрякова [1] отмечают, что метод электродиализа в применении к горным породам, рудам и минералам позволяет решать следующие задачи:

1. Изучение степени подвижности редких и цветных металлов, входящих в малых количествах (сорбированных) в состав осадочных горных пород.

2. Изучение миграции элементов, входящих в состав породобразующих минералов, в условиях, имитирующих природный процесс выветривания.

3. Определение относительной растворимости минералов в условиях, близких к природным.

Установлено, что процессы сорбции играют важную роль в накоплении урана в осадочных породах на всех стадиях их формирования. Способностью сорбировать уран обладают органическое вещество, фосфат кальция, гидроокислы железа, минералы глин и другие, главным образом коллоидные компоненты пород. Сорбционная емкость этих веществ в отношении урана зависит от его концентрации в растворе, от рН и солевого состава среды. Сорбенты имеют предел сорбции, поэтому при содержании урана, превышающем этот предел, должны наблюдаться собственные минералы урана. Однако не всегда эти минералы в силу своей дисперсности легко обнаруживаются и диагностируются.

Учитывая разнообразие форм связи урана в экзогенных его рудах (химические, урано-органические, сорбционные) и трудности, связанные с изучением вещественного состава таких руд, целесообразно применять наряду с другими методами исследований и электродиализ.

Основным узлом электродиализной установки является сосуд, разделенный двумя полупроницаемыми перегородками на три камеры. В крайних камерах помещаются электроды, подключенные к источнику переменного тока, а в средней—исследуемое вещество в виде суспензии. Камеры заполняются слабыми растворами необходимых электролитов или дистиллированной водой. Конструкция электродиализных установок позволяет поддерживать в течение всего опыта в камере с исследуемым веществом нейтральные, слабокислые или слабощелочные среды при постоянных значениях рН благодаря тому, что продукты реакции удаляются через перегородки в боковые камеры, а из них в специальные приемники. Этим самым моделируются природные процессы в открытых системах.

Режимы всех камер (рН среды и проточность) подбирают в зависимости от природы исследуемого образца, величины взятой навески и задач опыта.

Подробное описание хода анализа, оборудования и материалов производится в работах Рожковой Е. В. и Серебряковой М. Б. [1, 2].

При исследовании урановых руд с помощью электродиализной установки по количественному выходу в катодную камеру урана и содержащего его компонента судят о форме связи урана. В случае химического соединения оба вещества поступают в катодную камеру в пропорциональных количествах, а в итоге переходят в нее полностью. Если связь между ураном и исследуемым веществом имеет сорбционный характер, то в катодную камеру переходит только уран [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. РОЖКОВА Е. В., СЕРЕБРЯКОВА М. Б. Руководство по применению электродиализа для изучения горных пород, руд и минералов. Госгеолгиздат, М., 1953.
2. РОЖКОВА Е. В., СЕРЕБРЯКОВА М. Б. Применение электродиализа для изучения горных пород, руд и минералов. В кн. «Современные методы минералогического исследования». Госгеолтехиздат, М., 1957.
3. РОЖКОВА Е. В., РАЗУМНАЯ С. Г., СЕРЕБРЯКОВА М. Б. и ЩЕРБАК О. В. Роль сорбции в концентрации урана в осадочных породах. В кн. «Ядерное горючее и реакторные металлы». (Доклады советских ученых на II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии). М., 1959.

---

#### ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ И ПЕРЛОВО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗЫ НА УРАН

Все урановые и урансодержащие минералы могут быть разделены на две группы по их поведению в ультрафиолетовых лучах: минералы, люминесцирующие при непосредственном их облучении, и минералы, люминесцирующие в сплавах с фтористым натрием (NaF).

В первую группу входят соединения 6-валентного урана: многие его фосфаты, арсенаты, карбонаты и сульфаты (отенит, шрекингерит и др.), а также урансодержащие гиалиты. В. Г. Мелковым и М. И. Чаплыгиным разработан метод люминесцентного анализа, заключающийся в диагностике таких минералов по интенсивности и цвету свечения и по характеру спектра люминесценции [4, 10].

Ко второй группе относятся минералы, содержащие 4-валентный уран (смолки, черни, танталониобаты и др.); минералы 6-валентного урана, имеющие в своем составе тяжелые

металлы, такие как  $\text{Cu}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{V}$  (карнотит и др.); минералы, содержащие уран в виде небольшой и непостоянной примеси (гидроокислы  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$ , органическое вещество, фосфатное вещество и др.). Присутствие урана в минералах второй группы легко может быть обнаружено после сплавления их с  $\text{NaF}$ , что и является задачей перлово-люминесцентного анализа.

Характерными признаками люминесценции минералов урана являются отсутствие заметного послесвечения (флюоресценции), желтовато-зеленый или голубовато-зеленый цвет свечения и полосчатый спектр люминесценции. Следует отметить, что сходным по цвету, но обычно менее интенсивным свечением в ультрафиолетовых лучах, обладают некоторые лишайники, отдельные классы нефтяных битумов, иногда кальциты и минералы щелочных пород, содержащие редкоземельные элементы.

Для люминесцентного анализа необходим генератор ультрафиолетовых лучей со светофильтром, не пропускающим видимого света. В полевых условиях применяются солнечные люминоскопы и портативные приборы с кварцево-ртутными горелками и питанием от аккумуляторов или ручного магнето (приборы «Полюс», ПЛГО-2, МЧ-1, ПКЛ). В стационарных условиях используются ртутно-кварцевые лампы с питанием от сети, люминесцентные микроскопы, люминесцентные фотометры и спектрометры. Отечественные светофильтры УФС-1, УФС-2 и УФС-3 пропускают ультрафиолетовое излучение с длиной волны от 2400 Å до 3900 Å в зависимости от марки фильтра. Наиболее употребителен светофильтр УФС-3. Приборы без светофильтров использоваться не должны, так как свечение урановых минералов ослабляется видимым светом, тогда как гидроокислы железа начинают светиться горчишно-зеленым цветом. Более подробная характеристика приборов для люминесцентного анализа имеется в литературе [4, 6, 9, 11].

Перлово-люминесцентный анализ позволяет открывать уран в отдельных минералах, усредненных пробах и природных водах двумя способами:

1. Качественное и полуколичественное определение урана без отделения мешающих элементов.

2. Количественное определение урана с предварительным отделением мешающих элементов в ходе химического анализа.

Ниже коротко излагаются сведения о перлово-люминесцентном анализе по В. Г. Мелкову, М. И. Чаплыгину и другим авторам.

Сплавы соединений урана с  $\text{NaF}$  люминесцируют лимонно-желтым цветом, который изменяется до изумрудно-зеленого или оранжево-желтого, в зависимости от наличия примесей других элементов и от количества урана в сплаве. Интенсивность свечения сплава прямо пропорциональна содержанию

урана в них, если последнее не превышает 0,3%. При более высоких содержаниях урана в сплаве наступает эффект концентрационного гашения.

Примеси Cr, Co, Mn, Bi, Cu, Fe, Pb, Mo, V, Ni в разной степени гасят люминесценцию сплавов, поэтому перечисленные элементы необходимо предварительно отделить, либо анализ должен выполняться качественно [1, 3, 7, 8]. Для количественного перлово-люминесцентного анализа необходимо иметь набор эталонных сплавов (перлов) с известными содержаниями урана, выраженными в % или в граммах на один перл весом в 50 мг. Разница в содержании урана в двух соседних перлах эталонной шкалы должна составлять 2—2,5 единицы каждого порядка. Крайними членами шкалы, при процентном ее выражении, могут быть перлы, содержащие 0,4—0,5% и 2—2,5—6% U, а также контрольный перл из чистого NaF.

Количественное определение урана на примере усредненных порошковых проб, не содержащих примесей элементов «гасителей» (что проверяется предварительно с помощью микрохимического анализа [2, 5]), сводится к следующим операциям.

1. Расплавляют в петле платиновой проволоки в окислительном конусе пламени паяльной трубки или газовой горелки таблетку NaF весом 50 мг и присаживают к горячему перлу порцию исследуемого порошка весом 0,5 мг. Переплавляют присадку в течение 1—2 мин.

2. Остывший перл сравнивают в ультрафиолетовых лучах с набором эталонных перлов, замечая эталонный перл одинаковый по интенсивности свечения с испытуемым перлом. Содержание урана в пробе вычисляют по формуле (1). После каждого определения платиновая проволока тщательно очищается многократными погружениями в 5% HCl и прокаливанием. Очередной перл до присадки к нему анализируемого вещества должен проверяться на отсутствие люминесценции.

Если анализируется зерно минерала, вес которого не равен точно 0,5 мг, то содержание урана в минерале находят по формуле (2)

$$U \% = 100A \quad (1)$$

$$U \% = \frac{50 + p}{p} \cdot A, \quad (2)$$

где:  $A$  — содержание урана в эталонном перле в %;

$p$  — вес в мг минерального зерна или нескольких зерен, вплавляемых в одну таблетку.

В случаях, когда содержание урана в испытуемом перле оказывается очень высоким (близким к верхнему пределу эталонной шкалы), этот перл растирают в яшмовой ступке,

отбирают порцию порошка в 0,5 мг и вплавляют ее в таблетку чистого NaF, т. е. разбавляют первоначальный сплав в 100 раз. Разбавленный сплав сравнивают с эталонной шкалой. Содержание урана в исходном веществе определяют по формулам (1) или (2), увеличив результат в 100 раз.

Если содержания урана в перлах эталонной шкалы указаны не в %, а в граммах, то их надо выразить в % и далее пользоваться формулами (1) и (2). Для этого надо количество граммов урана в эталонном перле умножить на число  $\frac{100}{n}$ , где  $n$  — вес эталонного перла в граммах.

При выполнении перлово-люминесцентного анализа полезно иметь в виду следующее. Взятие порции NaF и порошковых проб производится мерной ложечкой с лунками, вмещающими 50 мг и 0,5 мг NaF. Если удельный вес  $d$  пробы сильно отличаются от  $d \text{ NaF} = 2,77$ , то надо найти вес порции порошковой пробы по формуле (3), а содержание урана вычислить по формуле (2).

$$p = \frac{0,5 \cdot d \text{ пробы}}{2,77} \quad (3)$$

Чтобы избежать потерь при плавлении отмеренных порций NaF, необходимо употреблять их в виде таблеток. Таблетки прессуются из порошка NaF, слегка увлажненного раствором сахара на дистиллированной воде. Сахар скрепляет таблетку, а затем выгорает.

Интенсивность люминесценции эталонных перлов со временем ослабевает, поэтому через каждые 1—2 месяца они должны переплавляться или заменяться новыми перлами, приготовленными из порошковых смесей, имеющих те же содержания урана, что и перлы эталонной шкалы. Порошковые смеси заказываются в химических лабораториях. Переплавленный или вновь полученный эталонный перл извлекают из петли платиновой проволоки, раскручивая последнюю, и клеивают в соответствующую лунку эталонной шкалы.

Если испытуемый перл в холодном состоянии имеет белый цвет (при обычном освещении, а не в ультрафиолете), то проба не содержит заметных примесей элементов — «гасителей» и от микрохиманализа можно отказаться. Оранжевая окраска холодного перла может быть вызвана высоким содержанием в ней урана, желтая и бурая окраска обусловлена наличием железа, зеленая и голубая — марганца, серая, бурая и других оттенков — примесью других элементов — «гасителей». Имеются указания, что при разбавлении анализируемого вещества фтористым натрием в 100—200 раз, элементы-«гасители» в большинстве случаев не мешают прямому определению урана [1].

Перлово-люминесцентный анализ на уран характеризуется высокой чувствительностью — визуально различимый предел достигает  $1 \cdot 10^{-6}\%$  в сплаве [7]. Точность анализа зависит от дробности шкалы эталонных перлов и от чистоты пробы в смысле содержания в ней элементов-«гасителей». Предварительное химическое отделение таких элементов намного увеличивает возможности метода, поэтому в настоящее время химический анализ на уран выполняется обычно с перлово-люминесцентным окончанием. Высокая чувствительность метода позволяет с его помощью открывать кларковые содержания урана в породах, а при минералогических исследованиях анализировать очень малые порции вещества: мелкие минеральные зерна, включения, примазки и выцветы на поверхности штуфов, выполнения тонких трещин и др. Количественная характеристика распределения урана в породе, которая при этом получается, служит хорошим дополнением к методу радиографии.

Для выполнения анализа в поле необходимо иметь следующие предметы и материалы, часть из которых входит в набор перлово-люминесцентной лаборатории ППЛ: прибор МЧ-1 (или солнечный люминоскоп со светофильтром); пенал со шкалой эталонных перлов; паяльная трубка с резиновым баллончиком и штативом; спиртовка; платиновые проволочки, впаянные в стеклянные палочки; пресс таблеточный; мерная ложечка; фтористый натрий; соляная кислота разведенная; порошковые эталонные смеси; набор реактивов для микрохимического анализа на элементы-«гасители»; предметные стекла, пробирки, тигли и др. предметы для микрохимического анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. АТРАШЕНОК Л. Я., ВОЛОШЕНКО Л. О. и КРЫЛОВ А. Я. Люминесцентный метод определения урана без отделения гасителей. Труды Радиового института АН СССР, т. VII, 1956.
2. ИСАКОВ П. М. Качественный химический анализ методом растирания порошков. Госгеолтехиздат, М., 1955.
3. МАРКОВ В. К., ВИНОВАДОВ А. В., ЕЛИНСОН С. В., КЛЫГИН А. Е., МОИСЕЕВ И. В. Уран и методы его определения. Госатомиздат, М., 1960.
4. МЕЛКОВ В. Г. и ПУХАЛЬСКИЙ Л. Ч. Поиски месторождений урана. Госгеолтехиздат, М., 1957.
5. НАЗАРЕНКО В. А. и ПОЛУЭКТОВ Н. С. Полумикрохимический анализ минералов и руд. Госхимиздат, М.—Л., 1950.
6. СВЕРДЛОВ З. М. Аппаратура для люминесцентного анализа при геохимических поисках. В кн. «Геохимические поиски рудных месторождений». Госгеолтехиздат., М., 1957.
7. СТАРИК И. Е., АТРАШЕНОК Л. Я. и КРЫЛОВ А. Я. Люминесцентное определение урана в породах и минералах. «Геохимия», № 8, 1956.
8. СТАРИК И. Е., СТАРИК Ф. Е., АТРАШЕНОК Л. Я., КОСТЫРЕВ Г. Б., КОСЯКОВ В. Н. и КРЫЛОВ А. Я. Влияние различных элементов на люминесценцию урана во фтористом натрии. Труды Радиового института АН СССР, т. VII, 1956.

9. ФЛОРОВСКАЯ В. Н. Краткое руководство по люминесцентно-битуминологическому анализу. Гостоптехиздат, М.—Л., 1949.
10. ЧАПЛЫГИН М. И. Диагностика главнейших вторичных урановых минералов по спектрам их люминесценции. В кн. «Геохимические поиски рудных месторождений». Госгеолтехиздат, М., 1957.
11. ЯКЖИН А. А. Поиски и разведка урановых месторождений. Госгеолтехиздат, М., 1961.

## ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ

Термолюминесцентный анализ является сравнительно новым и еще малораспространенным методом исследования минералов и горных пород. Применение этого метода в геологии находится в стадии накопления фактов; тем не менее достигнутые результаты свидетельствуют о его больших перспективах [1, 2].

Явлением термолюминесценции, то есть свечением при нагревании ниже температуры накала, обладают многие минералы. С наибольшей интенсивностью термолюминесценция проявляется у таких минералов как флюорит, карбонаты, циркон, полевые шпаты, кварц и др. Термолюминесценция горных пород, сложенных многими минералами, имеет неоднородный характер.

Сущность явления термолюминесценции объясняют наличием в породах примеси радиоактивных элементов. В результате воздействия  $\gamma$ -лучей на минералы, из кристаллической решетки последних выбиваются электроны, часть которых локализуется в дефектах решетки. При нагревании минералов их кинетическая энергия увеличивается, что приводит к освобождению электронов из дефектов решетки, сопровождающемуся излучением света. Аналогичное явление наблюдается при искусственном облучении минералов интенсивным потоком рентгеновских или  $\gamma$ -лучей.

Вид кривых термолюминесценции, построенных в координатах « $T^0$  нагрева — интенсивность излучения» зависит от изменений структуры минералов, от наличия в их решетке ничтожных примесей различных элементов и от других, еще не вполне ясных причин. В большинстве случаев высвечивание минералов при нагреве происходит не плавно, а импульсами, что отражается на характере кривой (рис. 18).

Специальные установки для термолюминесцентного анализа не выпускаются, поэтому можно сослаться лишь на схематическое описание их устройств [3, 4]. Основные узлы такой установки показаны на рис. 19. Нагревательный элемент, термopара, зеркало и фотоумножитель вмонтированы

в светонепроницаемый кожух, в который помещается и тарелочка с порошком пробы, измельченной до 0,1—0,5 мм.

Для характеристики термолюминесцентных свойств отдельных минералов могут быть использованы не только форма кривой (то есть температура появления максимумов и их

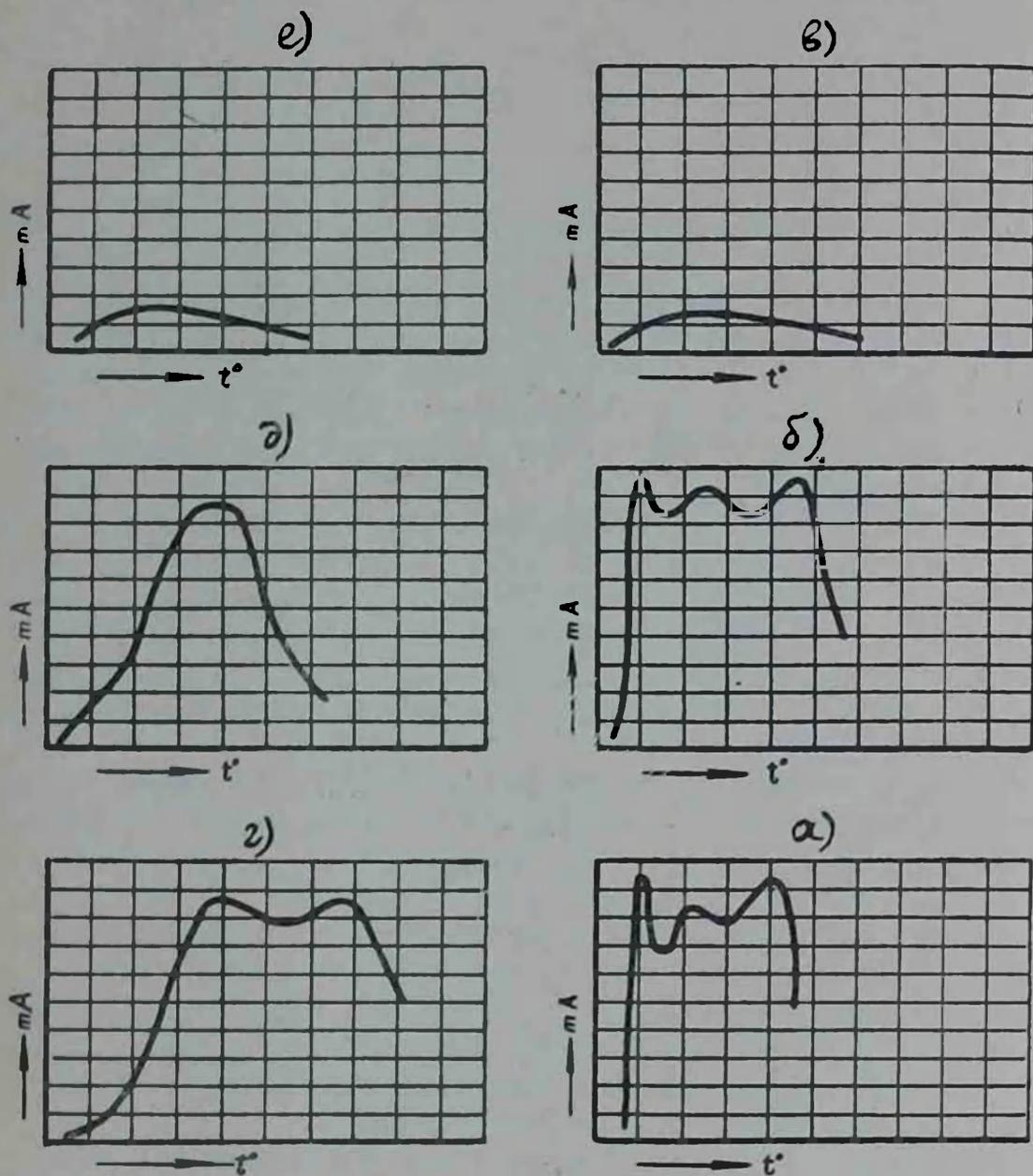


Рис. 18. Кривые высвечивания образцов из карбонатного ураноносного горизонта:

*a* и *б* — известняки нижней безрудной пачки; *в* — доломиты той же пачки; *г* и *д* — известняки средней рудоносной пачки; *е* — доломиты верхней безрудной пачки.

интенсивность), но и спектр свечения. Известно, например, что кальцит светится белым светом, а доломит — оранжевым.

Термолюминесцентный анализ применяется для решения ряда геологических задач:

1. Определения относительного геологического возраста горных пород.

2. Приблизительной оценки радиоактивности горных пород.

3. Корреляции слоев осадочных пород, расчленения фаунистически неохарактеризованных осадочных толщ на более подробные стратиграфические единицы, выявления эродированных частей разреза или перерывов в осадконакоплении и других вопросов литолого-фациального анализа.

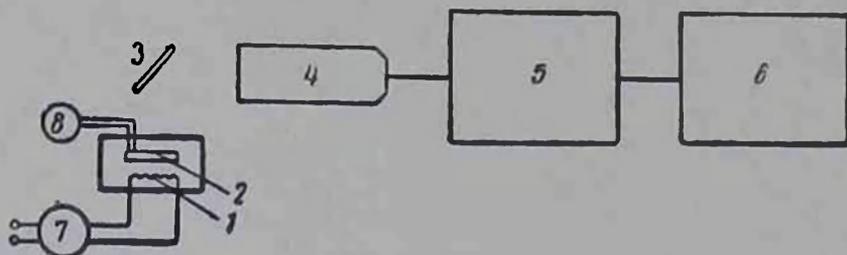


Рис. 19. Схема термолюминесцентной установки (по Н. П. Лаврову, А. Н. Таращану, Б. П. Власову и Г. Ф. Пудану, 1961 г.):

1 — нагревательный элемент; 2 — тарелочка для пробы; 3 — зеркало; 4 — фотоумножитель; 5 — электронный усилитель; 6 — самопишущий микроамперметр; 7 — автотрансформатор; 8 — терморпара.

При решении первых двух задач исходят из того, что в породах одинакового петрографического состава количество электронов, локализованных в дефектных участках решеток минералов увеличивается с течением геологического времени и поэтому интенсивность термолюминесценции у образцов таких пород возрастает. И наоборот, различия в интенсивности термолюминесценции двух пород одинакового состава и возраста должны были бы определяться разной степенью их радиоактивности. В реальных условиях эти простые зависимости осложняются явлениями иного порядка (примеси различных элементов, дефекты кристаллических решеток, вызванные тектоникой и др. причинами), что ограничивает возможности использования термолюминесцентного метода в этих целях. Так, определение относительного возраста пород дает в одних случаях хорошие результаты [3], а в других — спорные. Наиболее успешно термолюминесцентный метод используется в стратиграфии для целей корреляции, особенно карбонатных пород, ибо породы одинакового литологического состава, сформировавшиеся в среде с общими физико-химическими условиями (в пределах одной фациальной зоны), характеризуются общими термолюминесцентными свойствами. Так, например, кривые высвечивания известняков имеют 4—5 максимумов, которые возникают при определенных температурах нагрева порошка породы. Даниэльс [1] отмечает

наличие 4-х максимумов при  $T^{\circ}$ : 120—140°, 150—190°, 210—250° и 290—310°. Паркс [4], применявший предварительное  $\gamma$ -облучение проб, получал пики при следующих  $T^{\circ}$ : I—75°, II—120°, III—200°, IV—300°. В разных известняках количество, высота и форма максимумов неодинаковы.

Корреляция, по данным термолюминесценции, заключается в сравнении кривых высвечивания образцов, отобранных послойно из ряда разрезов. При этом кривые, полученные на ленте самописца, целесообразно переносить на сетку в прямоугольных координатах (рис. 18). Другим вариантом графического выражения данных термолюминесценции является построение рядом с литологическими колонками изученных разрезов пиковых диаграмм, на которых в масштабе откладывают величины всех полученных максимумов. Паркс пришел к выводу о целесообразности нанесения на диаграммы лишь двух кривых, соответствующих величинам IV максимума (левые кривые), и отношению величин III : IV максимумов (правые кривые) для каждого из образцов разреза (рис. 20).

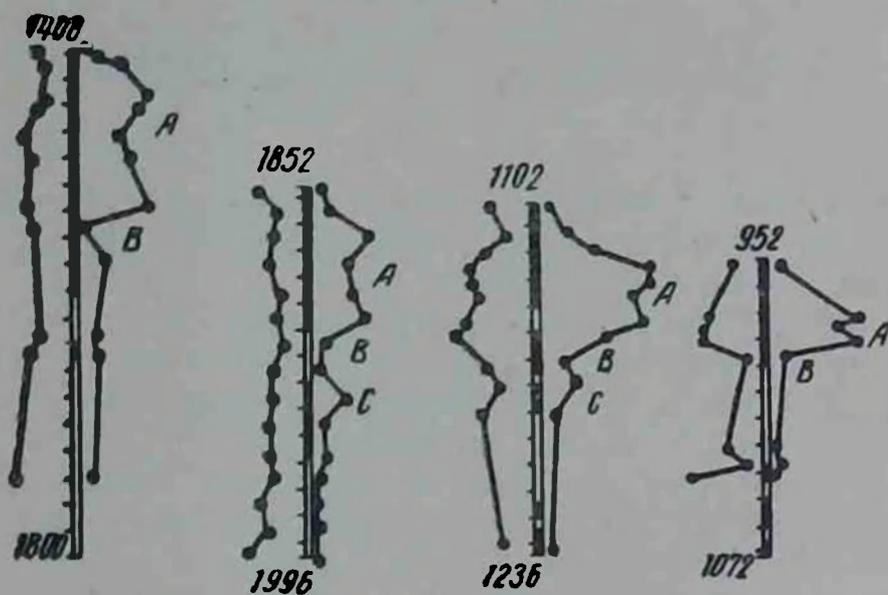


Рис. 20. Сопоставление четырех разрезов карбонатной голши по данным термолюминесцентного анализа. Цифры обозначают глубину опробования, буквы — интервалы разреза со сходными термолюминесцентными свойствами пород (по Парксу, 1953).

На рис. 18 представлены результаты термолюминесцентного анализа образцов, отобранных из ураноносного карбонатного горизонта. Горизонт расчленяется на три пачки: нижняя известняковая безрудная с маломощным слоем доломита в кровле (I цикл осадконакопления), средняя известняковая рудоносная и верхняя доломитовая безрудная (II цикл осадконакопления). Отдельные слои известняков

нижней и средней пачек весьма близки по своей литолого-фациальной характеристике. Кривые высвечивания большого количества проанализированных образцов могут быть сгруппированы в четыре типа. Первый тип (а и б на рис. 18) характерен для известняков нижней пачки, второй тип (в и е на рис. 18) — для доломитов нижней и верхней пачки. Известняки средней пачки, независимо от содержания в них урана, имеют кривые высвечивания двух типов (г и д на рис. 18). Таким образом, результаты термолюминесцентного анализа применимы в данном случае и для корреляции разрезов продуктивного горизонта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ДАНИЕЛЬС Ф., БОЙД Ч. и САУНДЕРС Д. Термолюминесценция как средство научного исследования. «Успехи физической науки». Т. 1, вып. 2, 1953.
2. КОМОВСКИЙ Г. Ф., НИКОЛЬСКИЙ В. С. и ЛОЖНИКОВА О. Н. Термолюминесценция минералов. «Известия АН СССР», серия физических наук, т. XXI, № 5, 1957.
3. ЛАВЕРОВ Н. П., ТАРАЩАН А. Н., ВЛАСОВ Б. П. и ПУДАН Г. Ф. О применении термолюминесцентного метода для определения относительного возраста гранитоидов. «Геология рудных месторождений», № 6, 1961.
4. PARKS Y. M. Use of thermoluminescence of limestones in subsurface stratigraphy. Bull. Am. Ass. petroleum geologist, v. 37, № 1, 1953.

---

#### ИЗУЧЕНИЕ ЦВЕТА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Цвет осадочных пород, как показатель геохимических условий их образования, часто используется в качестве одного из поисковых признаков.

Собственно осадочные месторождения урана, образующиеся в стадию седиментогенеза и диагенеза вмещающих пород, обычно приурочены к слоям с характерной «восстановительной» окраской — серой, зеленой различных оттенков, в то время как красные, желтые и бурые цвета окраски, характерные для прослоев, где господствуют резко окислительные условия породообразования, являются обычно показателем отсутствия повышенных концентраций урана.

Для месторождений эпигенетических — наложенных, образующихся в гидрохимически измененных осадочных толщах, изучение окраски вмещающих пород представляет не меньший интерес. Рудные залежи такого типа обычно приурочены к зоне изменения окраски пород рудоносного горизонта.

Фотометрический метод исследования цвета осадочных пород [2, 3, 10] осуществляется с помощью специального прибора — фотометра ФМ.

Внешний вид прибора и принципиальная схема его устройства приведены на рис. 21.

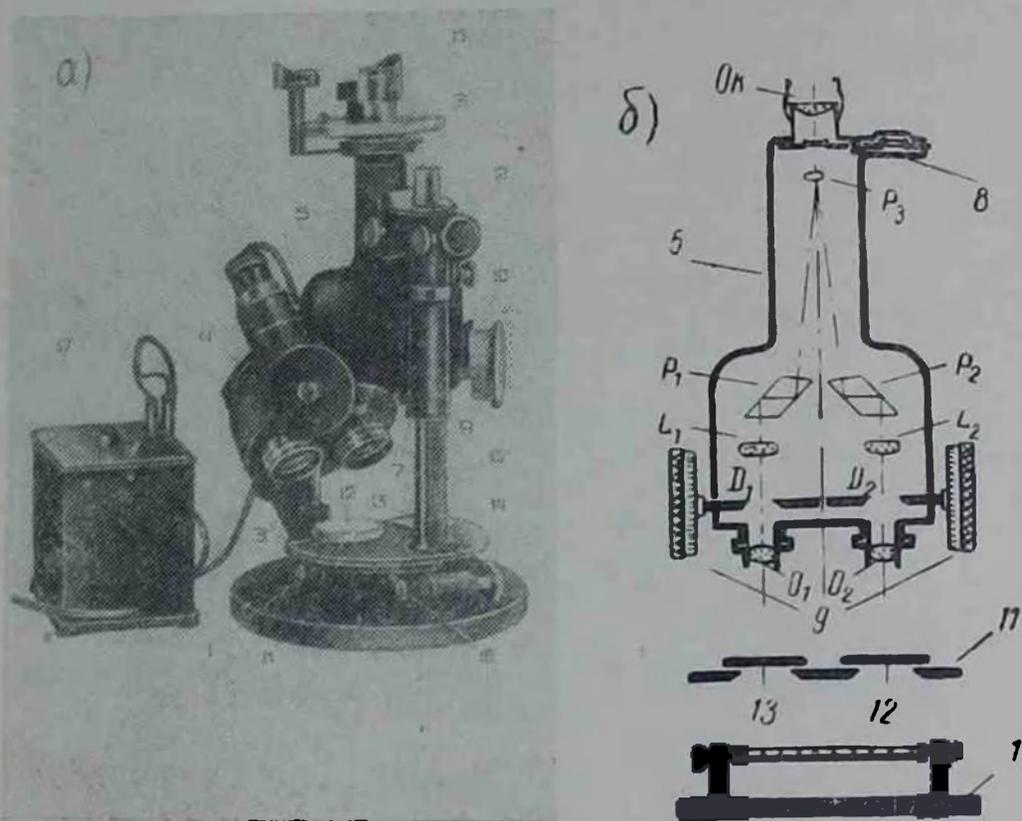


Рис. 21. Универсальный фотометр ФМ (а) и его оптическая схема (б).

На массивном штативе 1 имеются две стойки; на одной из них — 2 — крепятся все части фотометра, на другой — 3 — устанавливается фотометрическая лампа 4.

Для освещения при работе с фотометром используется переменный ток. В зависимости от напряжения в сети (220 или 127 в) соответствующим образом устанавливается переключатель в основании трансформатора 17.

Непосредственно над основанием штатива расположен предметный столик 11, на котором устанавливается специальная формочка 12 с измельченной породой и эталонная белая баритовая пластинка 13. Столик с помощью кремальерного винта 14 и резьбы на стойке штатива 15 может свободно передвигаться вверх и вниз и с помощью стопорного винта 16 закрепляется в нужном положении.

Основная часть прибора состоит из оптической трубы 5 с окуляром 6 и двумя объективами 7.

В верхней части оптической трубы, непосредственно ниже окуляра, располагается диск 8 со светофильтрами. В основа-

нии оптической трубы над объективами имеются две диафрагмы  $D_1$  и  $D_2$ . Барабаны 9, показывающие степень раскрытия диафрагмы, вынесены по обеим сторонам оптической трубы. Углы поворота барабанов отсчитываются по нанесенным на них шкалам 10 с делениями от 0 до 100, причем 0 — соответствует полностью закрытой диафрагме, а 100 — полностью открытой. Оптическая схема прибора обеспечивает совмещение в поле зрения окуляра световых потоков от эталонной баритовой пластинки и от исследуемого вещества. В соответствии с этим поле зрения разделено на две части.

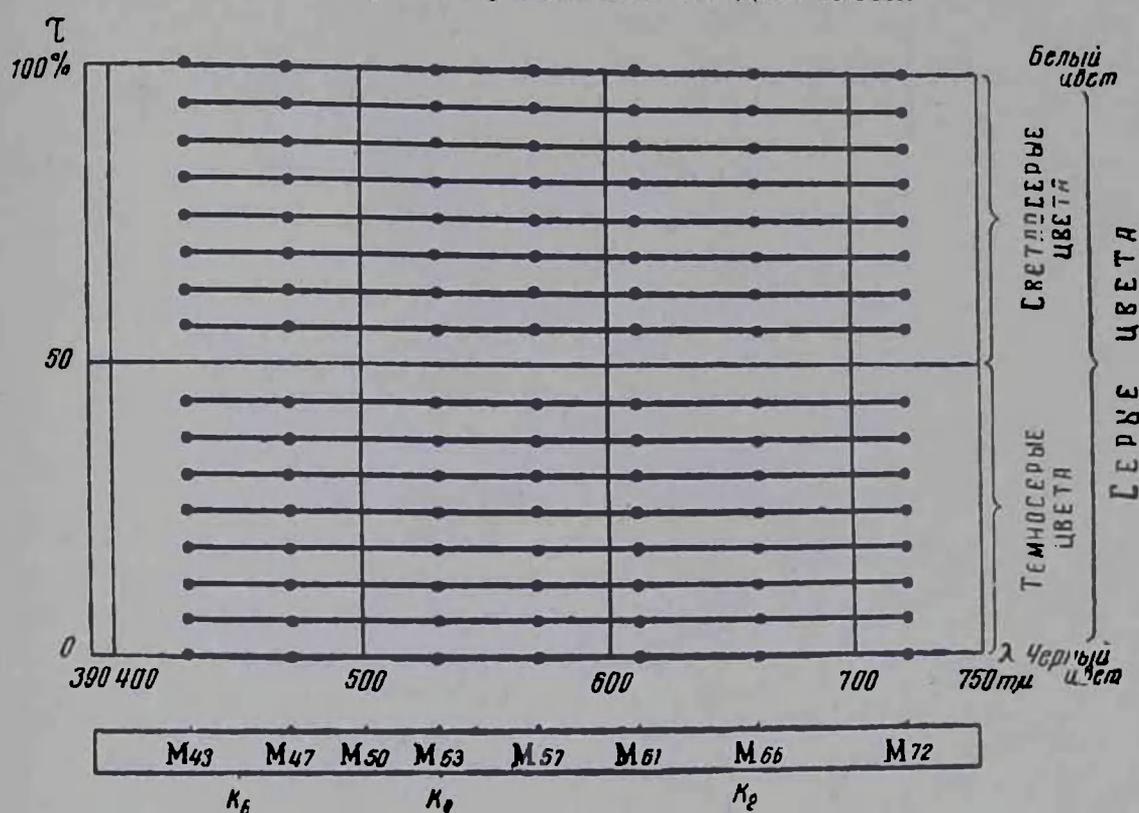


Рис. 22. Спектры отражения ахроматических тел и положение светофильтров  $M$  и  $K$  в пределах видимой части спектра.

В диске 8 (рис. 21) имеются два набора светофильтров  $M$  и  $K$ . Первый из них, хотя и обладает более дробными значениями интервалов волн, но из-за большей плотности (меньшей прозрачности) светофильтров, труден в работе. Этот набор может быть использован при детальном фотометрическом анализе отдельных образцов. Для массовых определений вполне достаточным по точности и более удобным в работе является набор светофильтров  $K$ , состоящий из трех светофильтров. Каждый из наборов светофильтров захватывает почти весь интервал длин волн видимой части спектра. Оптическая характеристика светофильтров показана на рис. 22.

Для характеристики цвета исследуемого образца изучается его отражательная способность при каждом свето фильтре путем сравнения с отражательной способностью белой бари-

товой пластинки, которая принимается за эталон абсолютно белого цвета. Так как исследуемые образцы почти во всех случаях обладают меньшей отражательной способностью, чем эталонная белая пластинка, то диафрагму, расположенную над объективом, который направлен на эталон, приходится прикрывать, в то время как диафрагма над пробой полностью открыта и шкала ее барабана стоит на отметке 100. Добившись одинакового освещения двух половин поля зрения, фиксируют положение барабана диафрагмы эталона и берут соответствующий отсчет по шкале, который при данном светофильтре и будет характеризовать отражательную способность образца —  $\tau$ , выраженную в процентах;

$\tau$  — представляет собой отношение светового потока, отраженного от поверхности исследуемого образца, к полному световому потоку падающего на него света. Эта величина всегда будет меньше 1, так как в большинстве случаев часть светового потока поглощается образцом. Лишь для эталонной пластинки, условно принятой за абсолютно белое тело,  $\tau$  принимается равным 1. Для абсолютно черного тела  $\tau$  равно 0. Для серых тел, не окрашенных в какой-либо цвет (ахроматических), величина  $\tau$  будет постоянной при наблюдении через весь набор светофильтров.

Сказанное наглядно иллюстрируется графиком (рис. 22), на котором в прямоугольной системе координат по горизонтальной оси откладывается величина  $\lambda$  — длина волны в интервале видимой части спектра (от 390 до 750 миллимикрон), а по вертикальной оси —  $\tau$  (от 0 до 100%).

У тел «абсолютно белых», равноценных эталонной баритовой пластинке, при любых светофильтрах  $\tau$  равна 100%, следовательно, их отражательная способность на данном графике будет выражаться прямой линией, идущей горизонтально на высоте деления, отвечающего 100%. Для тел «абсолютно черных» при всех светофильтрах  $\tau$  равно 0, поэтому их отражательная способность будет выражаться прямой, совпадающей с горизонтальной осью графика. Между этими крайними значениями расположится целая серия горизонтальных, параллельных между собой прямых, соответствующих различным серым тонам — от светло-серых, почти белых, до темно-серых, почти черных.

Не следует думать, что определенный уровень  $\tau$ , соответствующий, например, 30% черного и 70% белого в данном образце отвечает такому же соотношению в нем компонентов, определяющих белую и черную окраску. Изучение с помощью универсального фотометра ФМ искусственных смесей, таких как порошок угля и мела в разнообразных объемных пропорциях, показало, что изменение их отражательной способности  $\tau$  не находится в прямой зависимости от количественного соотношения этих составляющих (угля, мела), а изменяется

по некоторой кривой (рис. 23). Так, например, отражательная способность смеси из 9 объемных частей угля и 1 части мела (левая часть кривой на рис. 23) всего лишь на 1% выше, чем чистого угля, а смеси, состоящей из равных частей угля и мела, лишь на 10% выше. Однако прибавка к 9 частям мела 1 части угля снижает отражательную способность смеси сразу на 45% (правая часть рис. 23). Таким образом, уголь и мел, как единственные носители черного и белого цвета в данной смеси, далеко неравноценны.

Как известно [7, 8], сравнительно малые количества любых хромофоров, в том числе угля или органического вещества иного состава, а также окислов железа, марганца и др., внесенные в породы белого цвета, в такие, как известняки, мраморы, доломиты, кварцевые пески, песчаники, кварциты и проч., нередко придают им весьма разнообразные и яркие цвета окраски. Учитывая методическую сторону фотометрирования, необходимо отметить, что чувствительность прибора при работе с образцами светлых тонов значительно выше, чем с темными. Это должно учитываться при практической работе с фотометром.

Для хроматических тел, окрашенных в различные цвета, отражательная способность  $\tau$  будет изменяться при различных светофильтрах и поэтому на графике она будет выражена кривой с максимумом против той или иной части спектра.

Некоторые из таких кривых для различных красителей изображены на рис. 24, где показаны спектры отражения различных пигментов по П. Флери [9]. В случае тела с хроматической окраской ордината, соответствующая самой низкой точке его кривой отражения, согласно Оствальду [6], характеризует так называемую «светлоту» тела, процентное содержание белого в окраске  $w$  (от слова *wiess* — белый). Разность между максимальными и минимальными значениями  $\tau$ , обусловленная степенью отклонения кривой от горизонтальной линии, принимается за количество цветного  $v$  (от слова *voll* — полный, полноцветный). Наконец, отрезок ординаты от максимума кривой до точки 100% характеризует количество черного —  $s$  (от слова *schwarz* — черный).

Таким образом, окраска породы может быть выражена

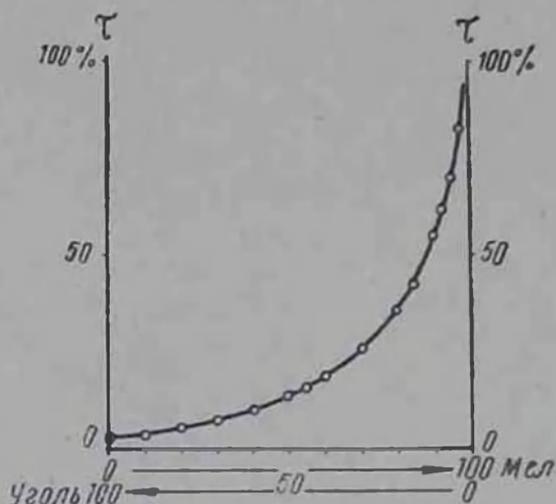
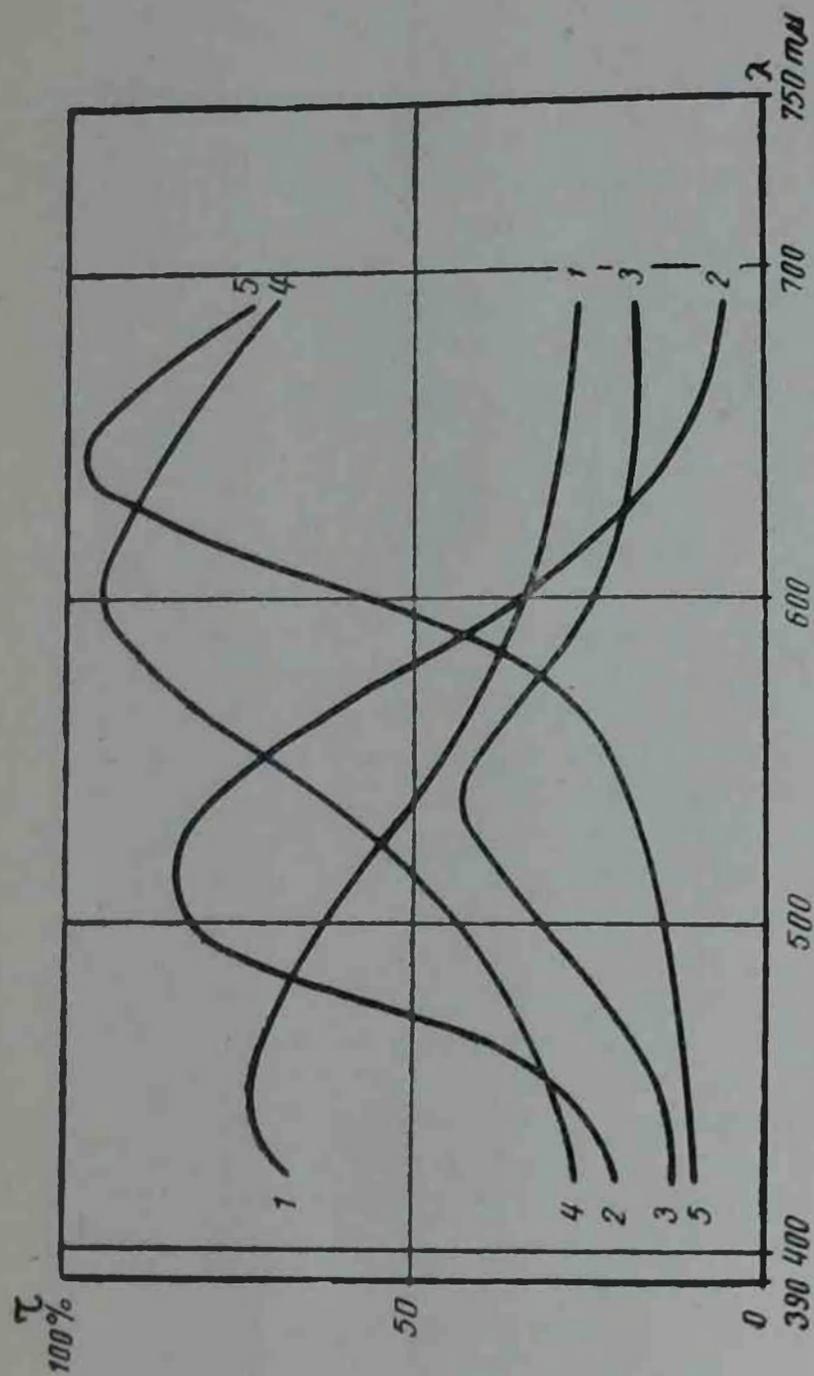


Рис. 23. Кривая отражательной способности искусственных смесей уголь-мел.



1-Пруссская синяя, 2-Зеленая изумрудная, 3-Окись хрома,  
 4-Желтый кадмий, 5-Кинноварь (по Р. Флеггу, 1930г.)

Рис. 24. Спектры отражения различных пигментов.

тремя цифрами, характеризующими содержание белого, цветного и черного соответственно процентным количеством  $w$ ,  $v$  и  $s$ , составляющими в сумме 100%, или  $w+v+s=100\%$ .

Приведенная формула позволяет вполне определенно в цифровом выражении оценить окраску любой осадочной породы. В этой формуле остается нерасшифрованной лишь цифра, характеризующая собственно цветную (хроматическую) часть —  $v$ .

Однако по кривым отражательной способности различных образцов в том случае, если они имеют четко выраженные максимумы, о преобладающем компоненте цветного можно судить по тому, на какую часть спектра эти максимумы приходятся. Если максимумы выражены нечетко, размазаны, то относительное участие тех или иных цветных компонентов можно подсчитать, беря разности между соседними светофильтрами. Хроматическая часть  $v$  для более детальной расшифровки может быть затем приравнена к 100%, а разности отсчетов между соседними светофильтрами, выраженные в процентах, будут характеризовать соотношение различных компонентов цветного.

Следует отметить, что существуют и ионные методы пересчета фотометрических определений. Так, в работе М. М. Гуревича «Цвет и его измерение» [1] предлагается пересчет на трехцветные коэффициенты или так называемые цветные координаты. Окраска по этой методике выражается через три основных цвета  $R$  и  $G$  и  $B$ , отвечающих монохроматическим излучениям с длинами волн 700, 546 и 436 миллимикрон, которые соответствуют красному, зеленому и синему цветам. Пересчет в этом случае осуществляется с помощью формул и таблиц, приведенных в книге М. М. Гуревича.

### Подготовка образцов к фотометрическому анализу и фотометрирование

Цвет осадочной породы может изменяться достаточно резко в зависимости от состояния образца и в первую очередь от степени его влажности, от того, находится порода в монолите или в порошке и т. д. Порода приобретает также различные оттенки, в зависимости от степени ее измельчения. Наиболее удобно изучать окраску осадочных пород в порошке. Для этого образец разбивается на мелкие обломки и тщательной растиркой последовательно в чугунной, фарфоровой, а при наличии твердых частиц и в яшмовой ступах доводится до тонкого мучнистого состояния. Для контроля можно рекомендовать просеивание полученного порошка через сито 0,1 мм.

Так как фотометрический анализ преследует цель, прежде всего, дать объективную оценку цветности пород, которая позволила бы сравнивать их между собой, то само определение должно вестись в строго одинаковых условиях — при одинаковом положении прибора, освещенности и одном и том же наборе светофильтров. Следует также строго придерживаться одной и той же методики подготовки образцов к определению. Особенно важно при этом добиться одинаковой влажности исследуемых пород, так как от содержания влаги в значительной степени зависит их окраска. Сухие породы имеют более светлую окраску, влажные — более темную; поэтому, если испытываемый образец только что взят из обнажения, горной выработки, буровой скважины или находится длительное время в сыром хранилище, то перед определением он должен быть просушен.

Подготовленный порошок породы помещают в специальную формочку 12 (рис. 21) и поверхность его притирают стеклом. При этом стекло не нужно резко приподнимать, а следует с легким нажимом плавно сдвинуть в сторону с тем, чтобы не нарушить притертую гладкую поверхность.

Прежде, чем приступить к работе на фотометре, необходимо его тщательно проверить, установить фотометрическую лампу, добившись равномерного освещения изучаемого образца и эталонной пластинки. Шкалы на барабанах диафрагмы должны быть также выверены при помощи сравнительного фотометрирования эталонных пластинок и установлены в рабочее положение.

Просматривая помещенный на предметном столике фотометра порошок породы последовательно через все светофильтры, получают ряд цифр, характеризующих отражательную способность образца при каждом из этих светофильтров.

Для большей точности измерений рекомендуется делать 5 или 7 отсчетов при каждом свето фильтре и брать арифметическое среднее из них. Полученный цифровой материал дает достаточно объективную характеристику цвета породы. Результаты фотометрирования заносятся в журнал по следующей форме (см. табл. 6).

Согласно сказанному выше (рис. 22), находим:

$$w = \tau \min; v = \tau \max - \tau \min; s = 100 - \tau \max.$$

#### Примеры использования фотометрического метода при изучении экзогенных месторождений урана

Данные фотометрического изучения карбонатных урансодержащих пород были использованы для сопоставления цвета пород с их вещественным составом и для проведения хроматической съемки, результаты которой показаны на рис. 25.

## Журнал фотометрирования

№№ образцов	Цвет сухого порошка породы (визуально)	τ средн. из 5—7 замеров по светофильтрам			Цветовая характеристика образца, %			
		К-2 красный	К-4 зеленый	К-6 синий	S	W	V	Сумма
301	Зеленовато-серый	35	46	42	54	35	11	100
24	Серый	35	35	34	65	34	1	100
29	Красный	40	31	30	60	30	10	100

Карбонатные породы, содержащие урановое оруденение преимущественно в виде черной и смолки, представлены в основном известняками оолитовой, органогенно-оолитовой и органогенно-шламовой структур. В кровле рудного пласта располагается прослой пелитоморфного тонкослоистого доломита. В каждом отобранном образце радиометрическим методом промерялось содержание урана и с помощью фотометра определялась его цветовая характеристика. Поскольку рудовмещающие карбонатные породы различаются лишь оттенками серого цвета, то, в данном случае, из всей цветовой характеристики целесообразно было использовать только ахроматическую часть. Против каждого образца на всех разрезах (рис. 25, график I), в масштабе показано содержание урана (сплошная линия) и процентное содержание черного цвета (пунктир). Кривые, иллюстрирующие их изменения в каждом из разрезов, указывают на определенную достаточно четкую взаимозависимость между ними.

На том же рис. 25 показано размещение концентраций урана в вертикальном разрезе пласта (II) и цветовая ахроматическая характеристика в изолиниях содержания черного цвета (III). Обращает на себя внимание достаточно хорошая сходимости результатов радиометрического опробования и цветовой характеристики — участки пласта, содержащие повышенные концентрации урана, как правило, отличаются более темным цветом рудосодержащих пород.

Для выявления более четкой зависимости между этими показателями результаты измерения цветовой характеристики (содержание черного цвета) и содержания урана в образ-

цах были затем нанесены на график в прямоугольных координатах (рис. 26). Здесь «разброс» точек оказался довольно значительным, однако общая закономерность — изменение цвета породы с увеличением содержания в них урана — выступает достаточно отчетливо.

Для того, чтобы выяснить причину окраски той или иной осадочной породы, необходимо, очевидно, установить влияние на ее цвет всех слагающих породу компонентов.

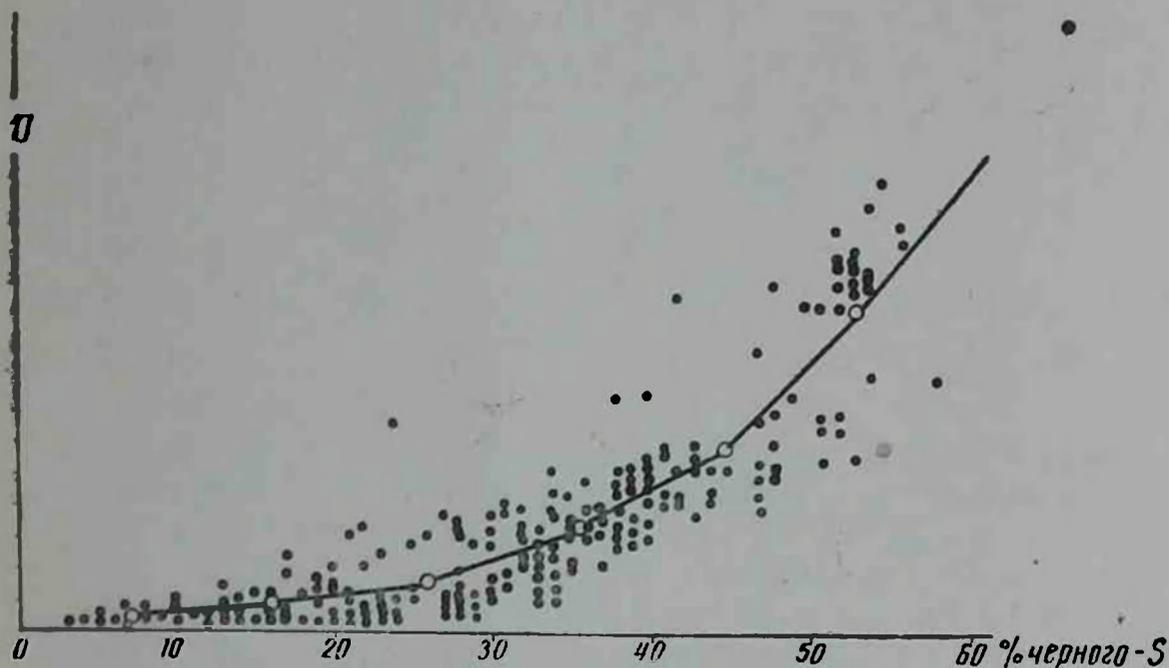


Рис. 26. Отражательная способность пород с различным содержанием урана.

В рассматриваемом нами случае собственная окраска известняков, лишенных каких-либо примесей, должна быть совершенно белой. Иной цвет карбонатных пород зависит, следовательно, от разнообразных примесей, входящих в их состав иногда в ничтожных количествах. По-видимому, некоторую роль в появлении серой окраски исследованных пород могут играть содержащиеся в них урановые минералы (черни). Однако весьма малое содержание последних не позволяет отнести их к числу главных хромофоров. Содержание кластического материала в рассматриваемых породах составляет десятые доли и первые единицы процента, увеличиваясь до 10 или 20% в разностях, наиболее обогащенных терригенными компонентами. В составе последних преобладает кварц, меньшее значение имеют полевые шпаты и слюды. Все эти минералы вследствие светлой окраски не могут оказывать заметного влияния на цвет вмещающих пород. Содержание темноцветных минералов — роговых обманок, пироксенов, а также акцессорных (циркона, граната, турмалина, ставролита, рутила и других) —

обычно настолько ничтожно, что их роль в изменении цвета данных пород также весьма незначительна.

В поисках других хромофоров, обуславливающих окраску ураноносных пород, было обращено внимание на содержание в них органического вещества. Изменение окраски карбонатных пород в зависимости от содержания в них органического вещества было изучено на примере тех же рудоносных горизонтов. На рис. 27 изображено соотношение между окраской пород и содержанием в них органического углерода. Количество органического углерода в породах варьирует в пределах от 0 до 0,60—0,63%, а содержание черного цвета — от 10 до 70%. Окраска пород меняется от светло-серой, почти белой, до серой и темно-серой. Значительный «разброс» точек на графике свидетельствует о том, что в данном случае органическое вещество служит не единственным хромофором, обуславливающим цвет породы, хотя общая закономерность — потемнение пород с увеличением содержания в них органического углерода ( $C_{орг}$ ) — выступает достаточно отчетливо.

Рассматривая вопрос о возможных причинах окрашивания известняков, обратимся к анализу тех форм, в которых присутствуют соединения железа, так как известно [4, 12], что последние относятся к числу весьма важных хромофоров осадочных пород. Образцы, в которых определялось содержание закисного и окисного железа, были собраны из двух различных стратиграфических горизонтов. Один из них содержит урановое оруденение преимущественно в виде урановых черней и смолки, другой лишен всяких признаков урановой минерализации. Образцы из рудосодержащей пачки карбонатных пород имеют преимущественно серый цвет разных оттенков; образцы из безрудной пачки характеризуются светло-желтым, светло-розовым и желтовато-розовым цветом.

Столь существенное различие в окраске рудосодержащих и безрудных образцов, обусловленное различным соотношением в них закисного и окисного железа, четко отразилось и на характере размещения этих аналитически исследованных образцов на соответствующей диаграмме (рис. 28), построенной по тину диаграммы Томлисона [12]. В образцах, располагающихся сверху вниз вдоль вертикальной оси графика, то есть в порядке уменьшения в них  $Fe_2O_3$  от 0,70% до 0,01%, наблюдается постепенное изменение цвета от розовой, желтовато-розовой до светло-желтой окраски; в образцах, тяготеющих к горизонтальной оси графика, содержание закисного железа преобладает и варьирует в пределах от 0,02 до 0,92%; окраска изменяется также постепенно, но в ахроматических тонах (слева направо) — от светло- до темно-серой. Рудосодержащие образцы на этом графике четко отделились от безрудных и сосредоточились вдоль горизонтальной оси, что указывает на резкое преобладание в них закисного железа над окисным.

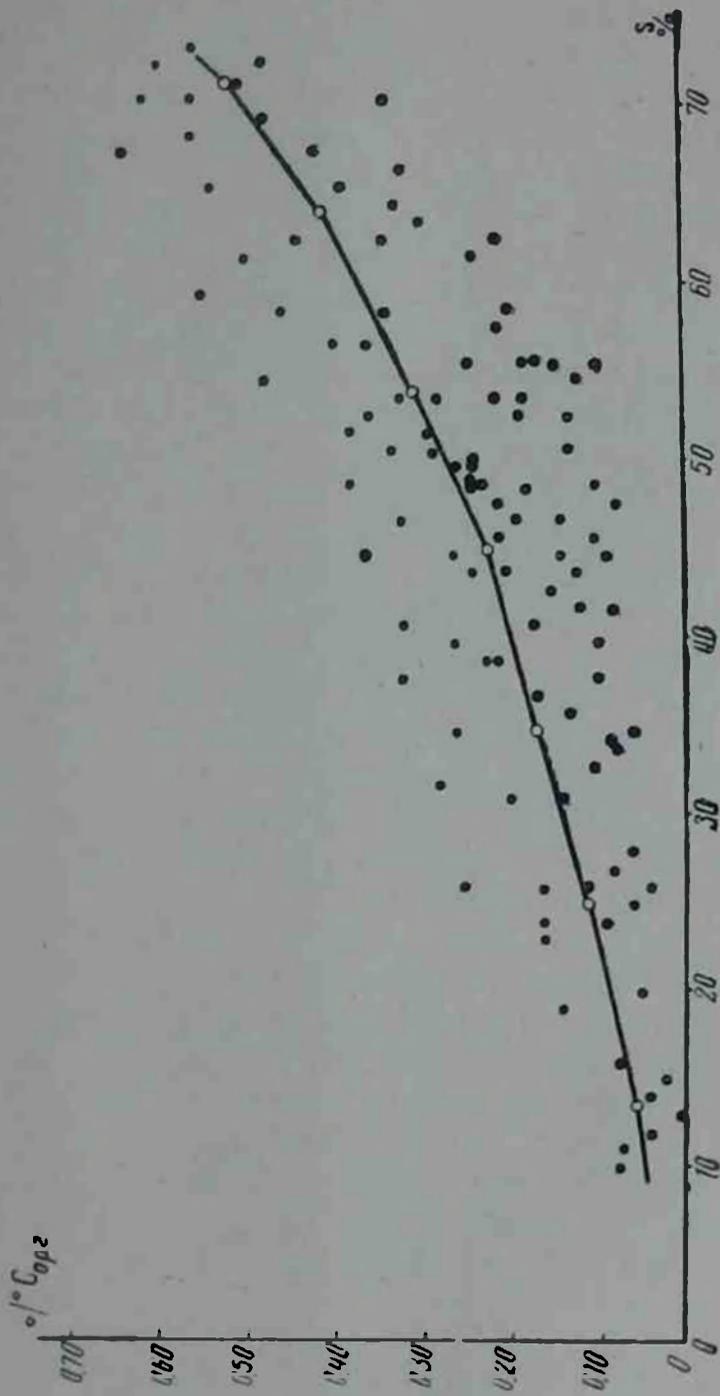


Рис. 27. Отражающая способность пород с различным содержанием органического углерода.

Это, в свою очередь, отражает тесную связь уранового рудообразования с восстановительными условиями.

Приведенные выше данные показывают, что темные тона окраски урансодержащих карбонатных пород связаны с рядом компонентов, в числе которых главнейшими являются органическое вещество и закисные формы соединений железа. В то же время эти компоненты являются показателями восстановительной геохимической обстановки, оказывают благо-

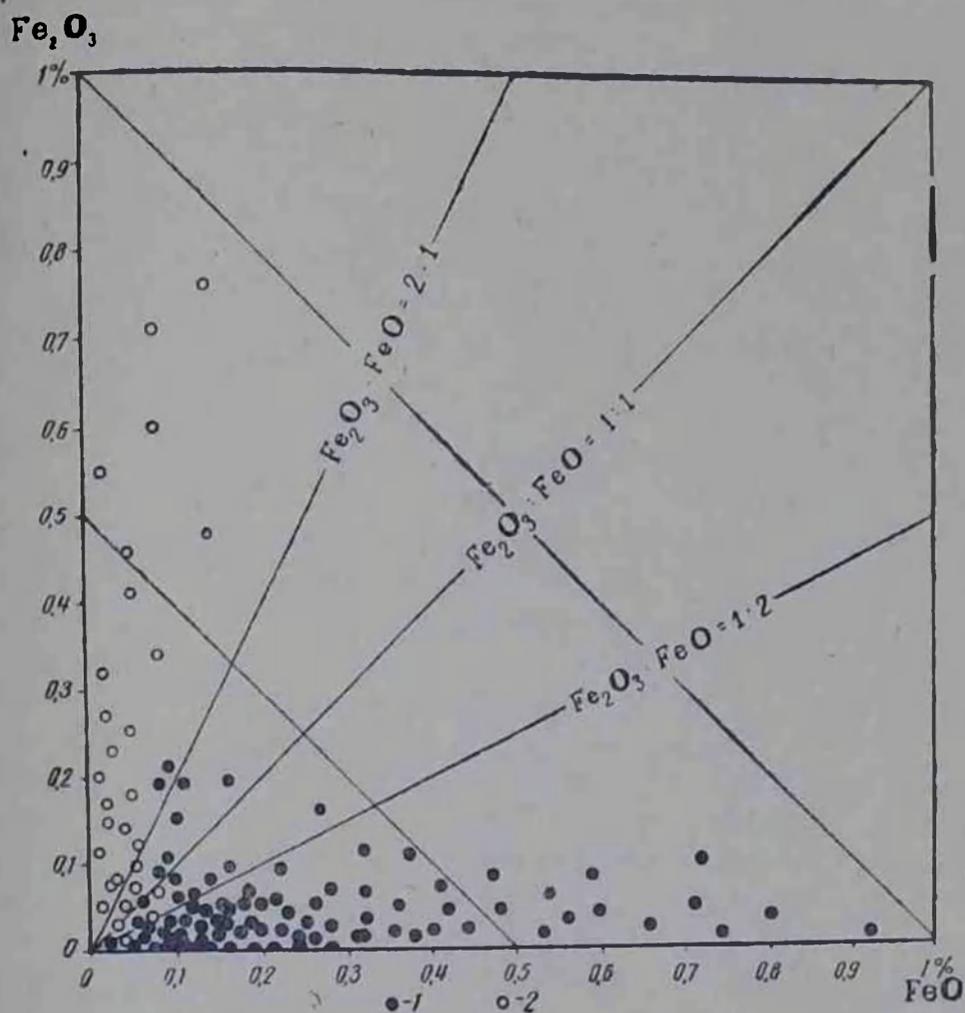


Рис. 28. Соотношение между закисным и окисным железом в карбонатных породах рудосодержащего горизонта:  
1 — рудные образцы; 2 — безрудные образцы.

приятное влияние на образование в породах повышенных концентраций урана. Таким образом, приуроченность урановых концентраций к пластам с восстановительными условиями породообразования находит выражение и в количественных соотношениях между компонентами пород, создающими эту восстановительную обстановку ( $S_{орг}$ , сульфидной серой, двухвалентным железом и др.), и содержанием урана.

Интересные данные, свидетельствующие о большом значении цвета осадочных пород как поискового признака для экзогенных месторождений урана, приуроченных к терригенным

породам, приводятся в работе Мастера [11]. Как указывает автор, в изученном им районе пойменные образования, сложенные преимущественно красноцветными песчаниками, алевролитами и глинами верхнеюрского возраста, вмещают «каналы древних потоков», заполненные грубозернистыми песчаниками серого и коричнево-серого цвета, с которыми и связана урановая минерализация.

По кернам скважин автор подсчитал суммарную мощность слоев серой и коричневатой («благоприятной») окраски и красноцветных (неблагоприятных для рудообразования) отложений. Относя эти данные к единице мощности, автор построил цветовые карты в изолиниях «благоприятной» окраски. Одна из таких карт приведена на рис. 29.

Цветовые карты отражают особенности расположения древнерусловых сероцветных отложений среди пород, представляющих собой пойменные красноцветные образования. На приведенной карте (рис. 29) вырисовывается участок древнерусловых отложений, ограниченный изолиниями 100 (100% «благоприятной» окраски к принятой единице мощности). Изолинии 75, 50 и 25 указывают на постепенное выклинивание сероцветных песчаников и увеличение относительной мощности красноцветов. Соответствующими условными обозначениями на этом рисунке показаны скважины с промышленным ураноденением, с урановой минерализацией и пустые скважины. Все рудные скважины и скважины с урановой минерализацией приурочены к участку распространения песчаников «благоприятной» окраски, между тем как обширные территории развития красноцветных отложений полностью лишены всяких признаков уранового рудопроявления. В то же время на тех участках, где древнерусловые отложения имеют достаточно обширную площадь распространения (нижняя часть рис. 29), встречаются разрозненные мелкие рудные тела и многочисленные рудопроявления (скважины с урановой минерализацией). Мастер считает, что «...устойчиво серые пески, по всей вероятности, являются относительно неблагоприятными (для образования промышленных рудных тел — авторы), так как в них минеральные концентрации склонны быть дисперсными». В тех же участках древних протоков, где они сильно сужаются (средняя часть рис. 29) и постепенно сменяются красноцветными, рудные тела приобретают значительно большие размеры. Автор обращает внимание и на определенную ориентировку рудных тел, как сочетающуюся со слоистостью песчаников, так и совпадающую с общей ориентировкой древнего потока.

Не менее отчетливо поисковое значение цвета осадочных пород, а также происхождение их окраски в связи с формированием промышленных концентраций урановых минералов показано и в работе Векера [13]. Рассматривая ураноносные

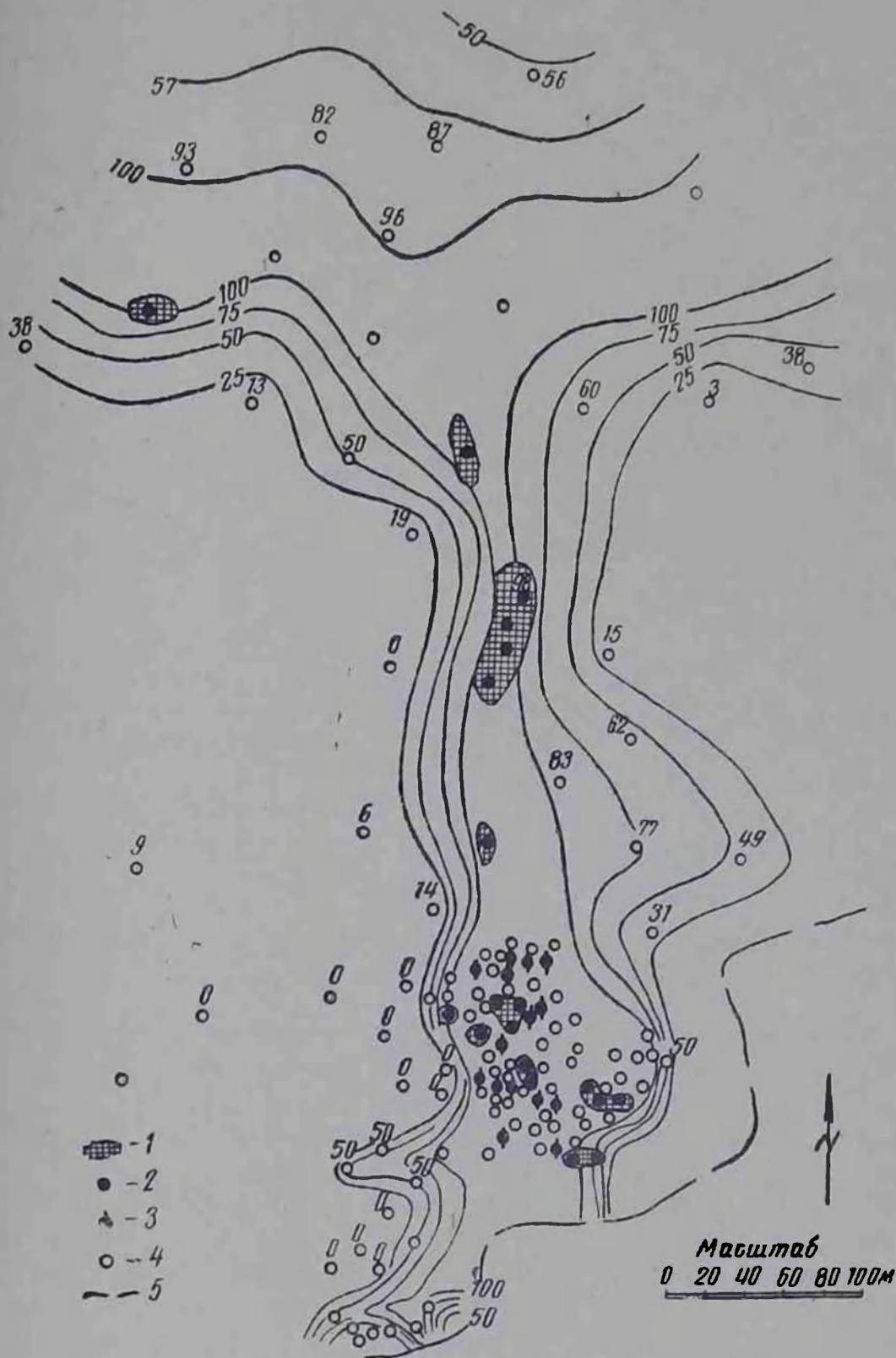


Рис. 29. Хроматическая карта в изолиниях «благоприятной» окраски песков рудоносного горизонта одного из районов Аризоны (по Дж. Мастерсу, 1955 г.):

1 — рудные тела; 2 — рудные скважины; 3 — скважины с урановой минерализацией; 4 — пустые скважины; 5 — граница формации.

песчаники нижнего мела, он обращает внимание на связь урановой минерализации и радиоактивных аномалий с изменением окраски вмещающих пород. Последнее иллюстрируется рядом карт и разрезов, один из которых приведен на рис. 30. В пределах полутораметрового пласта песчаника окраска пород меняется по извилистой линии, секущей слоистость, и имеет явно поздний, наложенный, вторичный характер, варьируя от светлого красновато-коричневого и бледно-красного цвета к серовато-оранжево-розовому и серовато-желтому до желтовато-серого и серого. Линзы карнотитовых песчаников

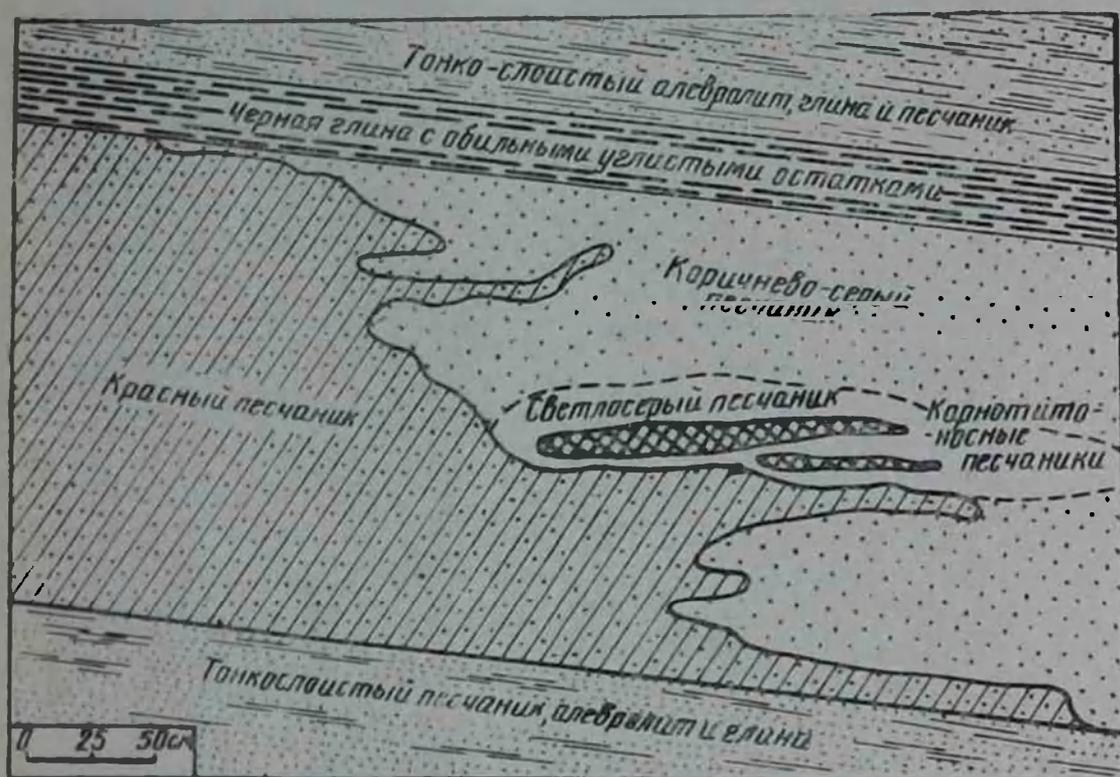


Рис. 30. Разрез, отражающий соотношение между красно-серым контактом и карнотитовым песчаником (по Р. Вickersу, 1957 г.).

заклучены в породах светло-серой окраски и находятся вблизи указанной зоны изменения цвета. (Окраску пород Вickers дает в обозначениях, соответствующих цветовым таблицам национального исследовательского бюро США). Образование повышенных концентраций урановых минералов, приуроченных к зоне изменения окраски вмещающих пород, характерно для всего описываемого района (рис. 31). Эта зона изменения окраски, как указывает Вickers, позволила обнаружить ряд новых проявлений урановой минерализации как в обнажениях, так и на участках, вскрытых горными выработками.

Наблюдения Дж. Мастера и Р. Вickersа над изменением окраски терригенных толщ, содержащих урановое оруденение, представляет несомненный интерес как для решения генетических вопросов, так и для поисковых целей. Построенные эти-

ми авторами цветные карты и разрезы, в которых урановая минерализация приурочена к участкам изменения окраски пород, наглядно свидетельствуют об этом. Нельзя согласиться, однако, с теми приемами, которыми пользуется Вickers для характеристики цвета пород. Применение цветных таблиц как

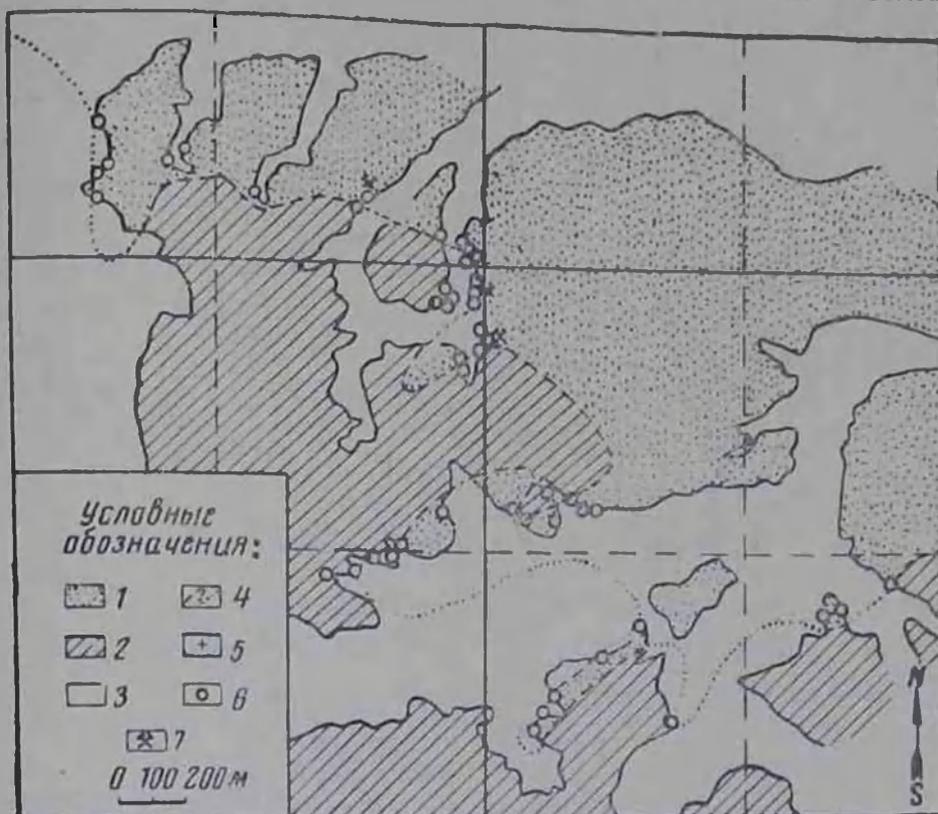


Рис. 31. Карта соотношения между сменой окраски песчаников, радиоактивными аномалиями и урановой минерализацией (по Р. Вickersу, 1957 г.):

1 — серый базальный песчаник; 2 — красный базальный песчаник; 3 — эродированный базальный песчаник; 4 — граница изменения цвета между серым и красным песчаниками; 5 — урановая минерализация; 6 — радиоактивные аномалии; 7 — горные выработки.

своеобразных эталонов имеет сугубо местное значение и лишает возможности использовать приведенные данные для сравнения. Тем самым еще раз подчеркивается целесообразность оценки цвета пород не визуалью, а посредством оптического фотометрического метода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГУРЕВИЧ М. Г. Цвет и его измерение. Изд. АН СССР, 1950.
2. ДАНЧЕВ В. И. О методике изучения цвета осадочных горных пород. «Известия АН СССР», сер. геол., № 7., 1956.
3. ДАНЧЕВ В. И. Цвет осадочных пород как один из показателей условий их формирования. «Вопросы минералогии осадочных образований», кн. 3—4, Львовский гос. университет, 1956.
4. ДАНЧЕВ В. И. Значение количественного определения цвета пород при изучении осадочных месторождений урановых руд. «Известия АН СССР», сер. геол., № 11, 1958.

5. ДАНЧЕВ В. И., КОРНИЛОВ А. М. и др. Об урановом оруденении в карбонатных осадочных породах. «Геология рудных месторождений», № 6, 1959.
6. ОСТВАЛЬД В. Цветоведение. ГИЗ, 1927.
7. ПУСТОВАЛОВ Л. В. Петрография осадочных пород. М. — Л., Гостоптехиздат, 1940.
8. ФЕРСМАН А. Е. Цвета минералов. Изд. АН СССР, М. — Л., 1936.
9. ФЛЕРИ П. Цвета и их измерение (колориметрия), перевод с французского. Изд. иностр. литературы, 1930.
10. Методы изучения осадочных пород. Том 1, Гостоптехиздат, М., 1957.
11. MASTERS J. A. Geology of the uranium deposits of the Lukachikau mountains areas Northeastern Arisona. Econ. Geol. v. 50, No. 2, 1955.
12. TOMLINSON C. W. The origin of red beds. Journ. Geol., v. 24, 1916.
13. VICKERS R. C. Alteration of sandstone as guide to uranium deposits and their origin northern Black Hills, Econ. Geol., v. 52, No. 6, 1957.

### ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Гранулометрический анализ служит для определения содержания в породах зерен обломочных терригенных минералов различной величины. Данные гранулометрического анализа, дополненные изучением минералогического состава зерен и степени их окатанности, а также полевыми наблюдениями над особенностями залегания пород (слоистость, текстуры поверхности слоев и т. д.), позволяют судить о фациальных условиях среды осадконакопления, о направлении и источниках сноса обломочного материала. Гранулометрический анализ применим лишь для слабосцементированных пород или пород с карбонатным цементом. В крепких некарбонатных породах содержание частиц различной крупности определяют подсчетом в шлифах под микроскопом [1]. Породы с диагенетическими или эпигенетическими новообразованиями (кремневые стяжения, пиритизация и т. п.) также не пригодны для анализа. Поэтому анализу должен предшествовать просмотр породы под микроскопом в шлифах или препаратах.

При массовых определениях, когда требуется охарактеризовать гранулометрический состав отложений, развитых на большой площади, или мощную толщу осадков, пробы обычно делят на следующие фракции (по размеру зерен):

> 10 мм	— галька
10—1 мм	— гравий
1—0,1 мм	— песок
0,1—0,01 мм	— алевролит
< 0,01 мм	— глина

Нередко выделяют дробные фракции гравия, песка и алеврита:

	Крупный	Средний	Мелкий
гравий	10—5 мм	5—3 мм	3—1 мм
песок	1—0,5 мм	0,5—0,25 мм	0,25—0,1 мм
алеврит	0,1—0,05 мм	0,05—0,025 мм	0,025—0,01 мм

При детальном исследовании пробы делят с помощью стандартных наборов сит на еще более дробные классы, конечные размеры зерен в которых составляют ряды по закону геометрической прогрессии и выражаются не в миллиметрах, а в безразмерных целых числах [1, 5, 8, 11, 12]. Такие приемы анализа облегчают математическую обработку результатов анализа, дают возможность применять методы вариационной статистики и упрощают графическое выражение результатов.

Методы гранулометрического анализа разнообразны (см. список литературы). Песчаные и более крупные фракции выделяют рассевом на ситах, алевритовые — отмучиванием в банках с водой или пипеткой. Содержание глины находят по разности между весом нерастворимого остатка и суммарным весом выделенных фракций. В тех случаях, когда глинистая часть породы представляет интерес для изучения, ее собирают и подразделяют на три размерных фракции 0,01—0,005, 0,005—0,001 и <0,001 мм. В силу того, что терригенная часть многих осадочных пород представлена смесью частиц, сильно различающихся по крупности, гранулометрический анализ таких пород выполняют комбинированным методом, в основу которого положены методы Осборна и АзНИИ [5, 7], при этом ситовый анализ применяется в сочетании с отмучиванием осадка в банках или отбором водной суспензии пипеткой.

Крупность выделенных частиц при применении этого метода контролируется с помощью микроскопа. Результаты гранулометрического анализа выражаются в весовых процентах с точностью до 0,1% к весу нерастворимого остатка породы, который служит исходным материалом. Анализ проб выполняется партиями по 10 штук. Каждая проба в процессе анализа проходит целый ряд операций, поэтому, во избежание путаницы, все виды посуды, в которой помещаются те или иные фракции данной пробы, должны иметь один и тот же условный номер. Ниже при описании хода анализа это всегда имеется в виду и специально не оговаривается. Таким образом, должно быть 10 комплектов посуды, в каждый из которых входит:

Стакан химический из жаростойкого стекла на 100 мл	. 2*
Стакан химический из жаростойкого стекла на 300—500 мл	. . . . . 1

\* Под одним номером с индексами А и Б.

Бюкс диаметром 5 см с крышкой . . . . .	2*
Сосуд (цилиндр) вегетационный толстостенный диам. 150 мм, высотой 200 мм, емкостью 3 л . . . . .	1
Сосуд (цилиндр) вегетационный толстостенный диам. 170 мм, высотой 300 мм, емкостью 6 л . . . . .	1
Чашка фарфоровая диаметром 12 см . . . . .	1
Чашка фарфоровая диаметром 7 см . . . . .	3*

Кроме того, необходимы следующие оборудование и материалы:

Шкаф сушильный К-005 . . . . .	1 шт.
Весы технические лабораторные Т-200 . . . . .	1 шт.
Разновесы к техническим весам . . . . .	1 компл.
Микроскоп биологический . . . . .	1 компл.
Секундомер . . . . .	1—2 шт.
Электроплита двухконфорочная с песчаной баней на 20 стаканов . . . . .	2 шт.
Набор сит почвенных с диаметром обода 10 см . . . . .	1—2 шт.
Сито из медной сетки с отверстиями 0,1 мм и диаметром обода 16 см . . . . .	2 шт.
Эксикатор . . . . .	2—3 шт.
Сосуд вегетационный на 6 л . . . . .	5—10 шт.
Бутыль (склянка) с тубусом у дна на 10 л . . . . .	2 шт.
Бутыль на 20 л (для отстаивания воды) . . . . .	8—10 шт.
Промывалка с колбой на 500 мл . . . . .	2 шт.
Воронка стеклянная диаметром 75 мм . . . . .	10 шт.
Штатив с доской для фильтрования на 10 воронок . . . . .	1 шт.
Стекло часовое диаметром 8 см . . . . .	10 шт.
Стекло часовое диаметром 6 см . . . . .	10 шт.
Палочка стеклянная . . . . .	20 шт.
Чашка фарфоровая плоскодонная 200 мм или тарелка . . . . .	2 шт.
Пест с резиновым наконечником . . . . .	2 шт.
Пипетка химическая на 10—20 мл . . . . .	4 шт.
Сифон стеклянный . . . . .	20 шт.
Термометр на 150° С . . . . .	1 шт.
Щипцы тигельные . . . . .	1 шт.
Кисточка волосяная . . . . .	2 шт.
Трубка резиновая медицинская . . . . .	10—20 м.

- Бумажка лакмусовая
- Фильтры беззольные (синяя лента) Д-12,5 см
- Кислота соляная 10%
- Аммиак 25% раствор
- Вода дистиллированная
- Вода отстаившаяся

Примечание. Лабораторный стол для анализа должен иметь высокую полку для бутылей с отстаившейся и дистиллированной водой и с 10% HCl. Водопроводную неотстоявшуюся воду, если она содержит взвешенные частицы, в анализе не используют. Температура воды должна быть комнатной в пределах 15—20°. Колонна (стандартный набор) сит почвенных с диаметром обода 10 см должна иметь поддон, крышку и сита с отверстиями 10; 5; 3; 1; 0,5 и 0,25 мм. Сита с отверстиями 0,1 мм и диаметром обода 15 см изготавливают из медной сетки. Вегетационные сосуды на 6 л (в дальнейшем большие банки) должны иметь две метки на расстоянии 5 и 25 см от дна, а вегетационные сосуды на 3 л (в дальнейшем малые

\* Под одним номером с индексами I—III.

банки) — две метки на расстоянии 5 и 20 см от дна. К микроскопу биологической шкалой. Сифоны (рис. 32) заказываются в стеклодувной мастерской. Бутбус вставляют пробку с краном. Перечисленный комплект оборудования позволяет выполнять анализ двум — трем лаборантам одновременно (на смежных операциях), что важно при массовых определениях. Необходимо иметь некоторый запас стеклянной посуды.

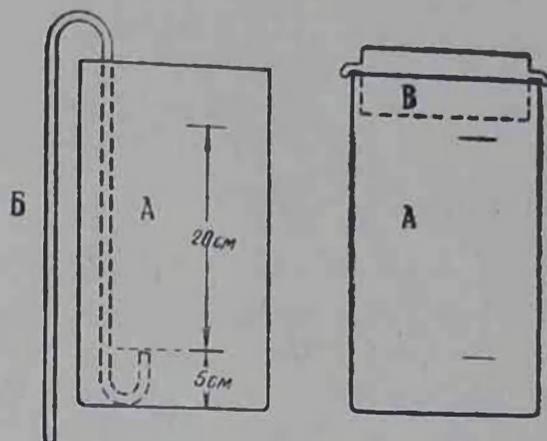


Рис. 32. Большая банка с метками (А), сифон (Б) и сито с отверстиями  $d=0,1$  мм (В).

Описываемый ниже способ анализа представляет собой совокупность следующих операций:

1. Подготовка образцов к анализу.
2. Получение нерастворимого остатка (Н. О.).
3. Разделение проб на фракции.
4. Вычисление % содержания фракций.

### 1. Подготовка образцов

Берут 10 образцов, заносят их номера в журнал (табл. 7), присваивая каждому образцу номер от 1 до 10 в соответствии с имеющимися комплектами посуды.

Образцы, пропитанные нефтью, предварительно экстрагируют в аппаратах Закса (рис. 15). Слабо сцементированные образцы разминают пестом в ступке, а крепкие — дробят на кусочки величиной с горошину (более крупные, чем размер зерен породы). Кусочки оставляют для анализа, а мелкие и пылеватые частицы выбрасывают. Пробы отбирают квартованием.

Грубо измельченные пробы ссыпают в большие фарфоровые чашки и сушат четыре часа в сушильном шкафу при  $+105^{\circ}$  С, после чего охлаждают в эксикаторе с поглотителем влаги. От каждой пробы берут навески: две на определение Н.О. по 3—10 г каждая и одну для разделения на фракции, весом 40—100 г. В случае грубозернистых пород навески берутся больших размеров. Навески до 10 г взвешивают на

аналитических весах с точностью до четвертого знака, а большие навески — на лабораторных технических весах с точностью до второго знака.

Навески на определение фракций ссыпают в стаканы, емкостью в 300 мл, заливают почти до верха дистиллированной водой и оставляют на ночь, чтобы воднорастворимые соли, которые вызывают коагуляцию частиц, перешли в раствор.

Навески на определение Н.О. помещают в 100 мл стаканы и смачивают водой. Все стаканы должны быть снабжены стеклянными палочками и крышками из часовых стекол.

## 2. Определение нерастворимого остатка — Н.О.

Стаканы с навесками заливают 10% HCl на 2/3 их объема и нагревают на песчаной бане в течение 20—30 мин без кипячения до обесцвечивания осадка и прекращения выделения пузырьков газа. Обработку кислотой ведут под тягой. Снимают стаканы с огня, дают им немного остыть, после чего содержимое стаканов переносят с помощью промывалки в воронки с двойными фильтрами. Осадок на фильтре промывают дистиллированной горячей водой до исчезновения ионов хлора в промывных водах (проверка на  $\text{AgNO}_3$ ). Фильтры должны быть предварительно высушены до постоянного веса, попарно взвешены и пронумерованы в соответствии с номерами стаканов на 100 мл.

Отфильтрованные и промытые осадки переносят в бюксы и сушат с приоткрытыми крышками при  $+105^\circ$  в течение 4-х часов. Закрывают бюксы крышками, охлаждают и взвешивают; снова сушат с приоткрытыми крышками в течение часа, охлаждают и вновь взвешивают. Эта операция повторяется до постоянного веса бюксов с крышками, фильтрами и Н.О. Результаты взвешивания заносят в журнал (табл. 4). Процент Н.О. вычисляют по формуле

$$\% \text{ Н. О. } = \frac{\text{вес Н. О.} \times 100}{\text{вес навески}}$$

Из двух значений % Н.О. находят среднее, но если они различаются больше чем на 1—2%, то повторяют определение Н.О. из новых навесок.

## 3. Разделение проб на фракции \*

1. Подготовка пробы. Отстоявшуюся за ночь воду осторожно сливают из стакана в раковину, оставляя тонкий слой, чтобы не взмутить осадка. Обрабатывают содержимое

\* Описан ход анализа одной пробы из партии в 10 штук.

стакана 10% HCl так же, как и навески на Н.О., но прореагировавшую кислоту сливают не на фильтр, а в малую банку. В случае, если выделение  $\text{CO}_2$  не прекратится или осадок не обесцветится, вновь приливают кислоту и нагревают на песчаной бане. Закончив обработку кислотой, содержимое стакана смывают в ту же банку водой из промывалки.

2. Удаление кислоты и глины. Банку доливают до верхней метки отстоявшейся водой и через 30 мин сифоном сливают в раковину мутную воду\*. Операцию повторяют еще раз, после чего содержимое банки смывают в тарелку, добавляют немного раствора аммиака до слабо щелочной реакции (для пептизации глинистых частиц) и растирают осадок без нажима резиновым пестом. Мутную воду сливают в освободившуюся банку, а в тарелку добавляют свежей воды и аммиака и вновь растирают. Смену воды и растирку продолжают до тех пор, пока вода в тарелке станет прозрачной, а минеральные зерна очистятся от глинистой рубашки (просмотр зерен под микроскопом). После этого содержимое тарелки смывают на сито с отверстиями 0,1 мм, надетое на большую банку (рис. 32), а малую банку наполняют до верхней метки водой. Спустя 30 мин (столб воды 15 см) сифоном сливают воду из банки в раковину. Осадок с остатком воды переносят в тарелку и дотирают пестом, после чего смывают осадок на сито 0,1 мм.

3. Выделение ситовых фракций. Осадок на сите с размером отверстий в 0,1 мм обрабатывают слабой струей воды из промывалки, в результате чего большая часть алеврита проходит сквозь сито в большую банку. Сито переносят в тарелку с чистой водой, которая должна покрывать сетку. Покачиванием сита вверх и вниз добиваются отделения оставшихся на сите частиц алеврита. Воду из тарелки вместе с этими частицами сливают в банку, а в тарелку наливают чистую воду и снова сеют, продолжая это до тех пор, пока на сите не остается больше алевритовых частиц и вода в тарелке станет чистой. Затем сито переносят в тарелку, переворачивают его кверху дном и водой из промывалки тщательно сгоняют песок и гравий в тарелку, смывая их с сетки и с обода сита. Осадок из тарелки переносят в большую фарфоровую чашку, с отстоявшегося осадка сливают воду и ставят чашку в сушильный шкаф. После сушки песок и гравий отсеивают в течение 10 мин в колонне сит с крышкой и поддоном. При сокращенном анализе в колонне оставляют лишь два сита — 10 мм и 1 мм и получают после отсеивания три фракции: гальку, гравий и песок. При более детальном анализе составляется колонна из сит 10 мм, 5 мм, 3 мм, 1 мм, 0,5 мм

\* В случае анализа активных проб мутную воду сливают в банку и отстоявшуюся глинистую фракцию используют для определения урана и других компонентов.

и 0,25 мм и получают 7 фракций: галька, крупный, средний и мелкий гравий, крупный, средний и мелкий песок. Зерна, застрявшие в отверстиях сит, счищают волосяной кисточкой. Фракцию, которая скопилась в поддоне, рекомендуется просеять дополнительно через сухое сито — 0,1 мм в тарелку для отделения тех частиц алеврита, которые при отсеивании в воде могли налипнуть на зерна песка и гравия. Алевритовые частицы в тарелке смачивают водой и смывают слабой струей воды из промывалки в большую банку с алевритом данной пробы. При сокращенном анализе алевритовые частицы ссыпают из тарелки в пакетик и позже объединяют с алевритовой фракцией. Каждую из выделенных ситовых фракций взвешивают на часовом стекле и ссыпают в бумажные пакетики, на которых сразу же надписывают номер образца, вес фракции и размерность ее зерен. Вес фракций заносят в журнал. Пакетики с фракциями сохраняются для минералогического изучения.

Далее, при сокращенном анализе следуют операции, указанные в пункте 4. При полном анализе выполняются операции, изложенные в пункте 5, после предварительного освобождения алеврита от глины, как изложено в пункте 4.

4. Получение алеврита. Если в большой банке с алевритом осталась еще примесь глинистых частиц (мутная вода), то банку доливают водой до верхней метки и через 40 мин (столб воды 20 см) сливают ее сифоном, а алеврит переносят в большую фарфоровую чашку, сливают излишек воды с осевшего в чашке алеврита и ставят чашку в сушильный шкаф. Сухой алеврит счищают со стенок чашки кончиком кисточки на часовое стекло, присоединяют алеврит, полученный при рассеве песка, взвешивают и ссыпают в бумажный пакет. Вес алеврита проставляют на пакете и в журнале.

5. Разделение алеврита на фракции. При полном анализе алеврит разделяют на три фракции отмучиванием в больших банках. Принцип разделения основан на различной скорости оседания в столбе воды частиц различной величины. Так как скорость погружения частиц зависит также и от их формы и удельного веса, то промежутки времени, необходимые для осаждения нужных фракций, устанавливают обычно по зернам кварца округлой формы. Крупный и средний алеврит оседает быстро, поэтому, прежде чем выполнять разделение алеврита, надо научиться сливать воду из банки тремя — четырьмя сифонами одновременно. Для этого банку, из которой надо сливать воду, пододвигают на край стола, а ниже на табурет ставят пустую банку. Два сифона складывают вместе, наполняют водой и, зажав пальцами их длинные прямые концы, плавно опускают короткими изогнутыми концами на дно верхней банки, после чего пальцы убирают. Таким же образом опускают в верхнюю банку еще два сифона. Отогнутые концы

сифонов будут при этом на уровне нижней метки, то есть в 5 см от дна банки. Когда слив воды прекратится, оставшуюся в коленах сифонов воду сливают в верхнюю банку, а сифоны промывают над банкой снаружи и внутри водой из промывалки.

Для разделения алевритовых фракций необходимо иметь несколько вспомогательных больших банок с двумя метками и с № 11 и выше. Сначала выделяют мелкий алеврит. Для этого банку с осадком после удаления остатков глинистой фракции наполняют водой до верхней метки, включают секундомер и по истечении времени, необходимого для оседания частиц размером 0,025 мм (табл. 8) \*, сливают воду четырьмя сифонами во вспомогательную банку. Повторяют операции до тех пор, пока в верхней банке выше нижней метки по истечении установленного времени вода не будет содержать взвешенные частицы. Для полного выделения мелкого алеврита приходится использовать 4—6 вспомогательных банок. После того, как осадок во всех вспомогательных банках осядет на дно, воду сливают сифонами в раковину. Остатки воды с мелким алевритом из всех вспомогательных банок объединяют в одну, тщательно ополаскивая стенки банок сильной струей воды из промывалки. Со дна этой банки, после отстаивания осадка, пипеткой берут пробу осадка на предметное стекло и рассматривают ее под микроскопом, чтобы убедиться в отсутствии зерен  $>0,025$  мм. В пробе из верхней банки проверяют отсутствие частиц  $<0,025$  мм. Таким образом, контролируют с помощью микроскопа как оставшийся, так и отделенный осадок. В оставшемся осадке не должно быть мелкого алеврита, а в отделенном — среднего. После этого выделенный мелкий алеврит смывают из банки в тарелку, а оттуда переносят в малую фарфоровую чашку с индексом I. Чашку ставят сушить.

Далее, таким же образом отделяют средний алеврит от крупного через интервалы времени, необходимые для оседания частиц крупнее 0,05 мм (табл. 8). И в этом случае контролируют с помощью микроскопа как оставшийся, так и выделенный осадок. Средний и крупный алеврит переносят из банок в тарелки, а из них в чашки с индексами II и III и ставят сушить. Сухие фракции алеврита взвешивают и ссыпают в надписанные пакетики. Вес фракций заносят в журнал.

#### 4. Расчеты

Зная процент Н. О. в данном образце (пункт 7 в табл. 7) и навеску ( $P$ ), взятую для анализа фракций (пункт 8), нахо-

\* В таблице 8 приведены данные о скорости и времени оседания частиц разной величины. Эти данные могут быть приняты за основу при выделении алевритовых фракций, однако контроль микроскопом при этом не исключается.

## Журнал гранулометрического анализа

	№ п/п	№ п р о б								
		147		+		...		10		
		1А	1Б	2А	2Б	...	...	10А	10Б	
№ стаканов 100 мл, бюксов, фильтров	—									
Вес бюкса с крышкой, г	1	28,58	30,20	+	+					
Вес фильтров	2	1,02	1,17	+	+					
Навеска на Н. О.	3	3,00	3,00	+	+					
Вес бюкса + фильтр + Н. О.	4	32,41	34,20	+	+					
Вес Н. О.	5	2,81	2,83	+	+					
% Н.О.	6	93,7	9,34	+	+					
Средний % Н. О.	7	94,0								
№ станков 300 мл, чашек, банок	—	1		2		...		10		
Навеска на анализ фракций	8	40,00			+					
Нерастворимая часть навески	9	37,60			+					
Содержание фракций	—	вес	%	вес	%	...	...	вес	%	
Ситовой анализ Седиментометрический анализ	Гравий Песок Алеврит	Галька > 10 мм	10	нет	нет	+	+			
		крупный	11	нет	нет	}	}			
			средний 10—5 мм	12	нет			нет		
			мелкий 3—5 мм	13	нет			нет		
		крупный	14	0,01	0,03	}	}			
			средний 0,5—	15	0,03			0,08	+	+
			—0,25 мм	16	14,66			39,00		
		крупный	17	4,00	10,64	}	}			
			средний 0,05—	18	0,15			0,40	+	+
			—0,025 мм	19	0,04			0,10		
		мелкий 0,025—								
		—0,01 мм								
		Сумма всех фракций	20	18,89	50,25	+	+			
		Глина < 0,01 мм	21		49,75	+	+			

Анализ начат \_\_\_\_\_ окончен \_\_\_\_\_

Лаборант \_\_\_\_\_

Скорость и время оседания шарообразных частиц кварца  
(удельный вес 2,65) из столба воды высотой 20 см  
(вычислено по формуле Стокса)

Таблица 8

Диаметр частиц, мм	Скорость оседания, см/сек			Время оседания, сек		
	$t^{\circ}=15^{\circ}$	$t^{\circ}=20^{\circ}$	$t^{\circ}=25^{\circ}$	$t^{\circ}=15^{\circ}$ мин сек	$t^{\circ}=20^{\circ}$ мин сек	$t^{\circ}=25^{\circ}$ мин сек
0,009	0,00626	0,00714	0,00804	53 15	46 40	41 28
0,010	0,00773	0,00882	0,00993	43 07	37 53	33 34
0,011	0,00935	0,01067	0,01202	35 39	31 14	27 28
0,024	0,04451	0,05081	0,05721	7 29	6 34	5 50
0,025	0,04829	0,05513	0,06207	6 54	6 03	5 22
0,026	0,05223	0,05963	0,06714	6 23	5 35	4 58
0,04	0,12368	0,14144	0,15891	2 42	2 21	2 06
0,05	0,19317	0,22054	0,24829	1 43	1 40	1 20
0,06	0,27817	0,31757	0,35754	1 12	1 03	— 56
0,09	0,62588	0,71454	0,80447	— 32	— 27	— 25
0,10	0,77269	0,88215	0,99317	— 26	— 22	— 20
0,11	0,93495	1,06740	0,20174	— 21	— 18	— 19

Таблица 9

Размер зерен минеральных фракций в мм  
и в делениях окулярной шкалы (окуляр 7х)

Фракции	Размер зерен		
	мм	Малые деления шкалы	
		Объектив 20х	Объектив 8х
Алеврит крупный	0,0—0,05	10,5—5,0	4,0—2,0
» средний	0,05—0,025	5,0—2,5	2,0—1,0
» мелкий	0,025—0,01	2,5—1,0	1,0—0,4
Глина	0,01	1,0	0,4

дят вес ( $P_1$ ) нерастворимой части этой навески (пункт 9) по формуле

$$P_1 = \frac{\% \text{ Н. О.}}{100} \cdot P$$

Процентное содержание каждой выделенной фракции ( $\% \Phi$ ) вычисляют, зная ее вес ( $F$ ) и вес нерастворимой части пробы ( $P_1$ )

$$\% \Phi = \frac{F}{P_1} \cdot 100.$$

Суммируют проценты содержания всех фракций. Разность между этой величиной и 100 является процентным содержанием глины. Пример (образец 147, табл. 7)

$$P_1 = \frac{91,0}{100} \times 40 = 37,60.$$

Песок крупный:  $\% \Phi = \frac{0,01}{37,50} \cdot 100 = 0,03\%$ .

» средний  $\% \Phi = \frac{0,03}{37,60} \cdot 100 = 0,08\%$  и т. д.

Сумма всех фракций:  $\Sigma \% \Phi = 50,25\%$ .

Глина:  $\% \Phi = 100 - 50,25 = 49,75\%$ .

Примечание. В табл. 7 показан пример заполнения журнала при полном (цифры) и сокращенном (крестики) анализе.

### Оформление и интерпретация результатов гранулометрического анализа

Результаты гранулометрического анализа представляют в виде цифровых таблиц и графически. Из многочисленных графических способов, предложенных разными авторами, укажем наиболее распространенные.

1. Для сопоставления результатов большого числа анализов применяют треугольные диаграммы, на которых каждый анализ выражает соотношение трех основных фракций, например, глины-алеврита-песка или глины-алеврита-(песка + гравия) и т. д. (рис. 33).

2. Чтобы показать изменения гранулометрического состава пород по разрезу, рядом с литологической колонкой строят диаграммы в виде седиментационных кривых, кривых содержания урана и других компонентов (рис. 34).

3. Наглядным способом изображения результатов анализа является построение гистограмм и циклограмм. Гистограммы представляют собой совокупность смежных прямоуголь-

ников, в основании которых в соответствующем масштабе указаны размеры фракций, а высота (или площадь) отвечает содержанию этих фракций в весовых процентах.

Весьма удобен упрощенный вид гистограммы, когда под прямоугольниками, основаниями которых служит равный, произвольно выбранный отрезок, наносятся не размеры частиц, а наименования фракций. В этом случае высоты прямоугольников соответствуют содержанию фракций.

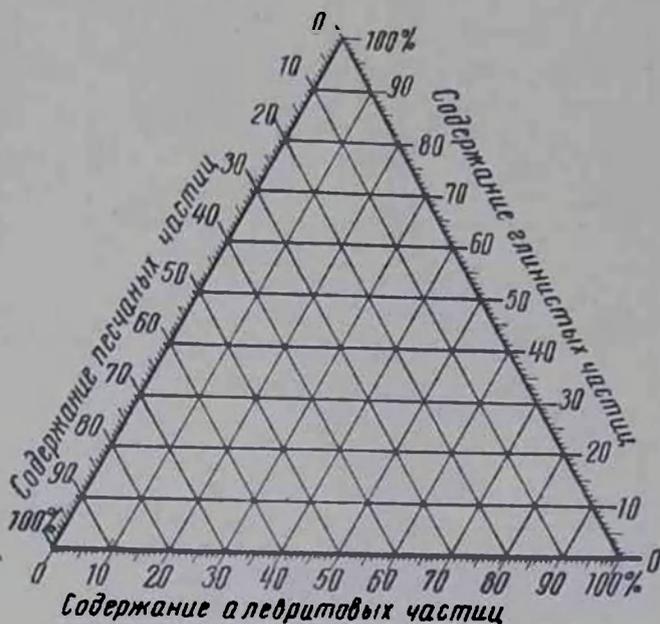


Рис. 33. Треугольная диаграмма для изображения гранулометрического состава глинисто-алеврито-песчаных пород.

Наряду с гистограммами применяются круговые диаграммы (циклограммы), в которых содержание отдельных фракций выражается площадью секторов, причем каждому проценту содержания соответствует угол, равный  $3,6^\circ$ .

При сопоставлении разрезов расположенные рядами гистограммы образцов, соответствующих одинаковым слоям разрезов, наглядно подчеркивают изменения гранулометрического состава пород от разреза к разрезу.

4. Еще один способ выражения результатов анализа заключается в построении суммарных кривых, которые известны также под названием нарастающих или кумулятивных кривых (рис. 35).

Суммарные кривые строят в прямоугольной системе координат. По горизонтальной оси откладывают в масштабе логарифмы конечных размеров фракций, а по вертикальной оси — процентное содержание фракций. Из каждой точки на горизонтальной оси восстанавливается перпендикулярный отрезок, который в выбранном масштабе равен суммарному содержанию данной фракции и всех предыдущих фракций. Сумма всех фракций (100%) выражается последним отрезком.

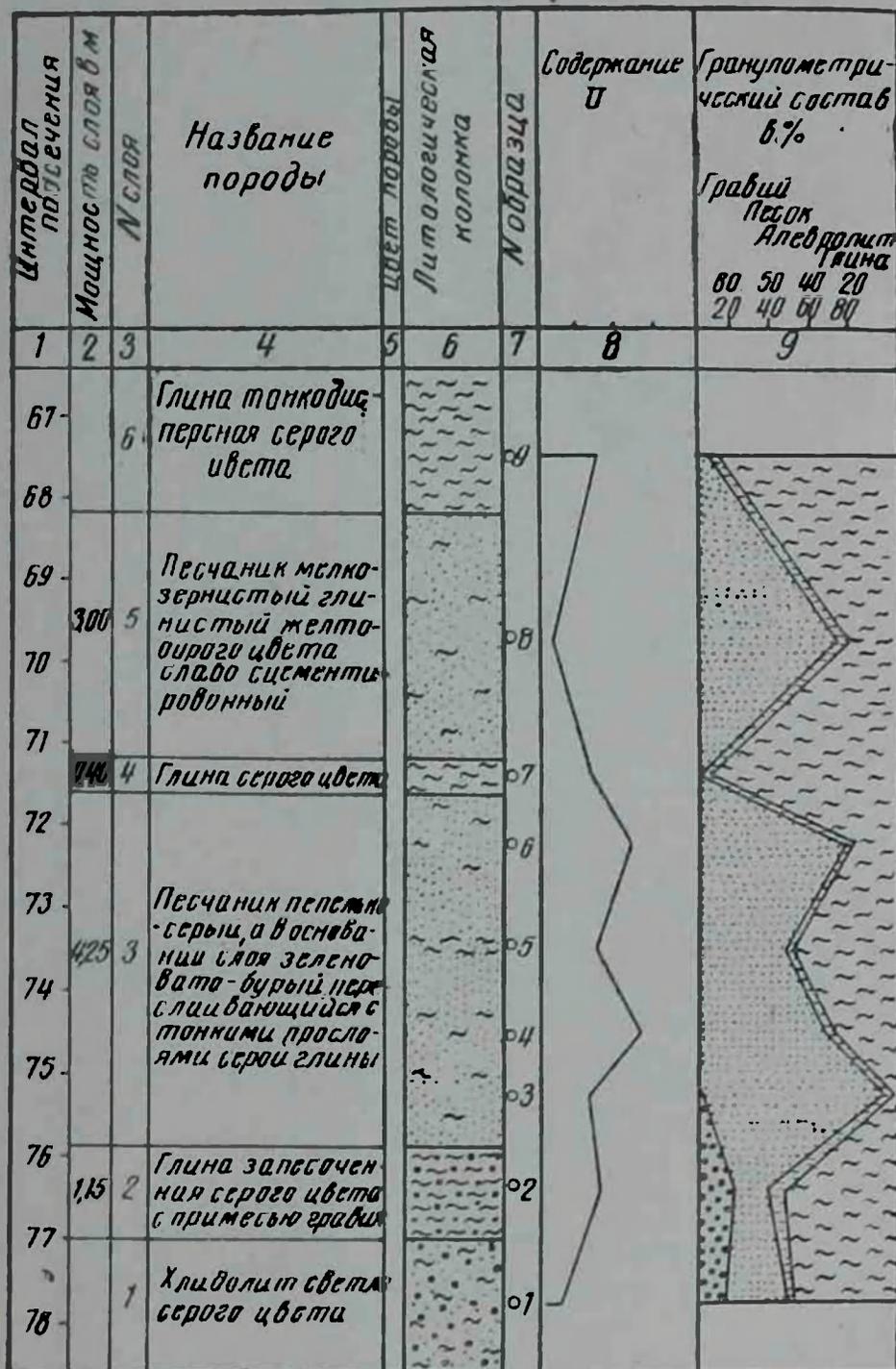


Рис. 34. Разрез ураноносного горизонта с диаграммами содержания урана и гранулометрического состава пород.

Вершины всех отрезков соединяют плавной кривой, которая и представляет собой суммарную кривую. Выражение результатов гранулометрического анализа в виде суммарных кривых является необходимым условием для вычисления некоторых коэффициентов, характеризующих распределение зерен в породе. Наибольшее значение имеют три коэффициента: средний или медианный диаметр  $Md$ , коэффициент отсортированности  $So$  и коэффициент асимметрии  $Sk$ . Для вычисления этих коэф-

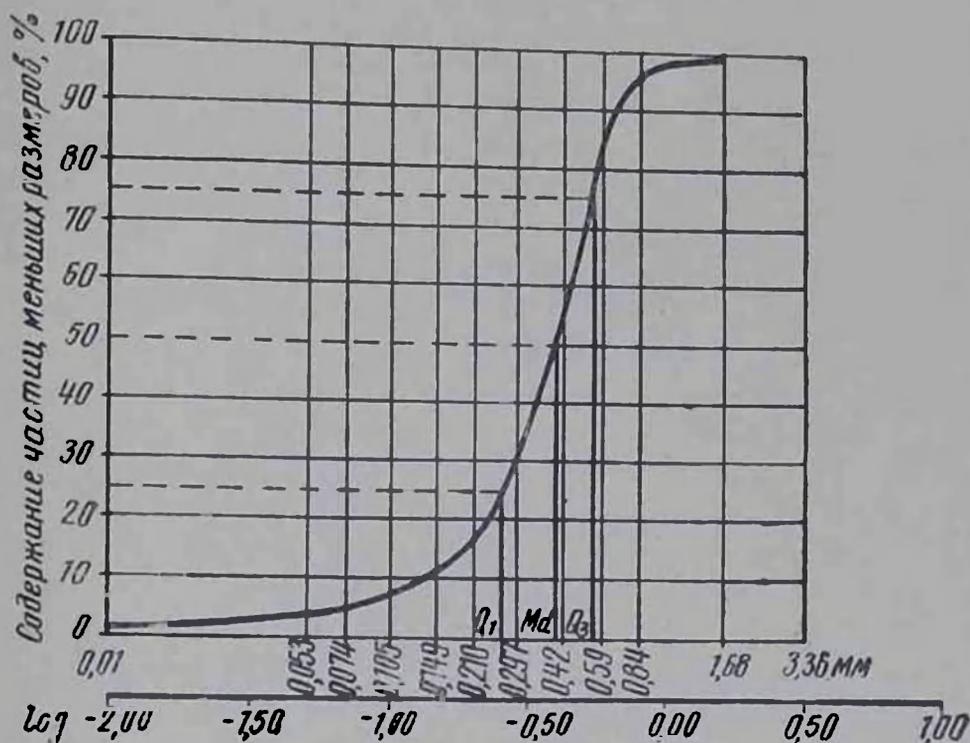


Рис. 35. Кумулятивная кривая в полулогарифмическом масштабе.

фициентов определяют сначала величину квантилей  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$  опусканием перпендикуляров на горизонтальную ось из точек кривой, соответствующих 25%, 50% и 75% содержания зерен. Найденные значения квантилей представляют собой логарифмы, по которым находят квантильные размеры зерен, выраженные в миллиметрах. После этого находят значения коэффициентов по формулам:

$$Md = Q_2; So = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}; Sk = \frac{Q_1 \cdot Q_3}{Md^2}.$$

Так как в начале координат можно помещать либо наибольшие, либо наименьшие размеры зерен, отчего значения  $Q_1$  и  $Q_3$  взаимно меняются, то принято считать за  $Q_3$  больший диаметр зерен, то есть  $Q_3 > Q_1$ . Более подробно способы построения суммарных кривых и вычисления гранулометричес-

ких коэффициентов изложены в рекомендуемой литературе [1; 5; 8; 10]. На основании вычисленных величин гранулометрических коэффициентов в известной мере можно судить об условиях образования осадков. Так, скорость движения среды характеризуется величиной  $Md$  (при больших скоростях — более грубозернистые осадки). Низкие величины  $So$  указывают на благоприятные условия для сортировки осадка, что является, обычно, результатом длительного его переотложения (пляжевые, эоловые пески). По Траску, хорошо отсортированные кластические осадки имеют  $So < 2,5$ , у среднеотсортированных осадков  $So \approx 3$ , а у плохо отсортированных  $So > 4,5$ .

Величина  $Sk$  характеризует положение моды, то есть преобладающего размера частиц по отношению к среднему диаметру  $Md$ . Если  $Sk > 1$ , то в осадке преобладает мелкая фракция, а если  $Sk < 1$ , то мода лежит в той части кривой, которая соответствует крупным фракциям.

Следует подчеркнуть, что любая математическая обработка результатов гранулометрического анализа имеет смысл лишь в тех случаях, когда выделенные в процессе анализа фракции представлены зернами обломочных, терригенных минералов. Если же фракции наряду с последними содержат значительное количество органических остатков и аутигенные минералы, то вычисленные коэффициенты не будут отражать динамику среды осадконакопления и могут лишь ввести в заблуждение исследователя.

Комбинированный метод гранулометрического анализа является весьма трудоемким по затрате времени, поэтому на анализ следует передавать минимально необходимое количество проб. В связи с этим возникает вопрос о том, что дает применение гранулометрического анализа в процессе поисково-разведочных работ на уран в осадочных породах. Здесь можно наметить три области его применения:

1. При фацциально-налеографическом картировании в районах распространения ураноносных осадочных толщ. В этих случаях гранулометрический анализ выполняется для лучшего познания условий их формирования и характеристики терригенно-минералогических провинций [1; 5; 8; 9; 10].

2. При детальном литолого-фацциальном картировании выявленных ураноносных участков, прослеживании рудоносных зон на площади и рудоносных пачек и слоев в разрезе. Нередко урановое оруденение имеет четкую приуроченность к определенным литологическим типам пород или к определенным слоям и пачкам стратиграфического разреза, тогда как безрудные промежуточные пачки сложены породами существенно другого литологического состава (ураноносные песчанки, переслаивающиеся с глинами, ураноносные известняки, переслаивающиеся с песчано-глинистыми породами и т. п.). Естественно, что в подобных случаях выделение и окон-

туривание продуктивных отложений не требует данных гранулометрического анализа. Однако, когда мы переходим к выяснению особенностей распределения промышленных концентраций урана в пределах выделенной продуктивной пачки, сложенной породами близкого литологического и фациального облика, становится необходимым распознавание локальных тонких отличий в гранулометрическом составе породы, не всегда обнаруживаемых при визуальном их изучении. Это тем более относится к таким породам, в которых терригенный обломочный материал составляет незначительную их примесь (известняки, доломиты и проч.).

Опираясь на данные гранулометрического анализа и других наблюдений в пределах одной литолого-фациальной зоны, удастся выделить участки неодинаковые по условиям гидродинамического и геохимического режимов, существовавших в водах палеобассейна и оказывавших существенное влияние на интенсивность первичного накопления урана в осадках. Так, например, на урановых осадочных месторождениях в карбонатных породах третичного возраста была установлена приуроченность уранового оруденения к определенным литолого-фациальным зонам. При этом рудоносные зоны занимают меньшие площади, чем соответствующие литолого-фациальные зоны, но хорошо сочетаются по размерам и конфигурации с зонами увеличенных мощностей рудовмещающих карбонатных пачек (рис. 36). На основе этого был сделан вывод о том, что положение рудоносных зон и рудных залежей определялось конфигурацией впадин дна палеобассейна, в которых накапливались более мощные осадки, а физико-химические и гидродинамические условия благоприятствовали концентрации урана в илах, в ходе диагенетического преобразования последних. Эти выводы подтверждаются сопоставлением данных гранулометрического анализа по разрезам из зон сокращенных и увеличенных мощностей (рис. 37). На гистограммах видно, что в зонах увеличенных мощностей терригенный материал имеет более тонкозернистый состав и лучше отсортирован.

3. Гранулометрический анализ в ряде случаев может быть применен и при изучении вещественного состава ураноносных осадочных пород. Разделение пород на фракции по размерам составляющих частиц, удельному весу, электромагнитным и другим свойствам облегчает выполнение минералогического анализа породы, позволяет установить, какие именно фракции или компоненты породы концентрируют уран. Особое значение при этом приобретает выделение глинистой фракции с разделением ее на 2—3 размерные фракции.

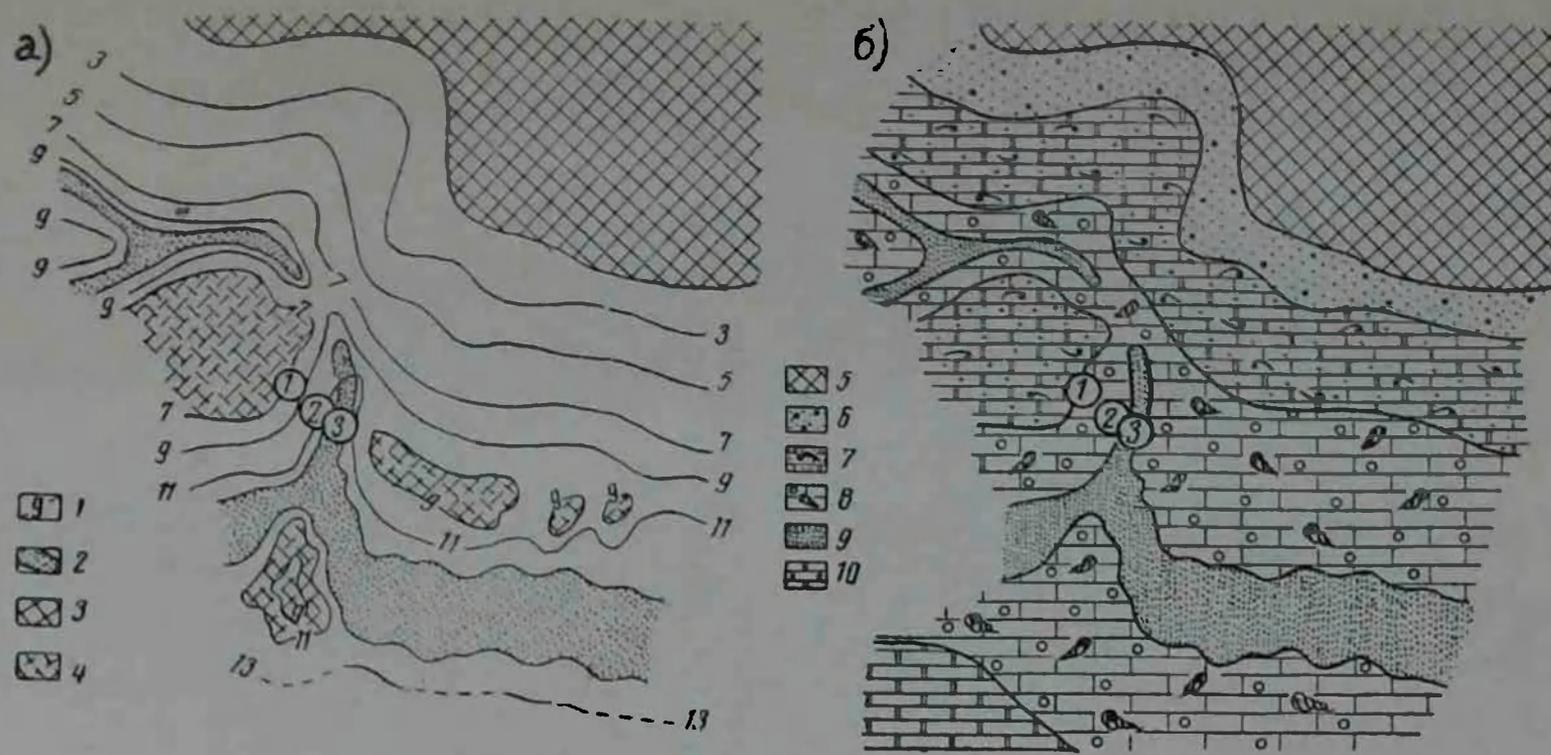


Рис. 36. Положение рудоносной зоны на карте изомощностей карбонатного горизонта (а) и на схеме литолого-фацнальной зональности этого горизонта (б):

1 — изолинии мощностей; 2 и 9 — рудоносная зона; 3 и 5 — палеосуша; 4 — подводные поднятия палеобассейна; 6 — обломочные породы с карбонатным цементом; 7 — доломитовые известняки с устрицами и примесью обломочного материала; 8 — органогенно-оолитовые известняки; 10 — доломиты хемогенные. Цифры в кружках — опорные разрезы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. БАТУРИН В. П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. Изд. АН СССР., М.—Л., 1947.
2. ВАСИЛЬЕВ А. М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. ГИЗ по строительству и архитектуре. М., 1953.
3. КОТЯХОВ Ф. И. Основы физики нефтяного пласта. Гостоптехиздат, М., 1956.
4. ЛОМТАДЗЕ В. Д. Методы лабораторного исследования физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолтехиздат, М., 1952.
5. Методы изучения осадочных пород. Том I, Госгеолиздат, М., 1957.
6. Методы исследования кернов. Под ред. Г. К. Максимовича. Гостоптехиздат., М., 1946.
7. ПУСТОВАЛОВ Л. В. и др. О методике лабораторных исследований и о классификации и номенклатуре осадочных пород. «Известия Аз. фил. АН СССР», 1944.
8. РУХИН Л. Б. Гранулометрический анализ песков. Изд. Ленинградского университета, Л., 1959.
9. РУХИН Л. Б. Основы общей палеогеографии. Гостоптехиздат, Л., 1959.
10. РУХИН Л. Б. Основы литологии. Гостоптехиздат, Л., 1961.
11. Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Тома I и II. Гостоптехиздат, Л., 1958.
12. ЧАПОВСКИЙ Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. Госгеолтехиздат., М., 1958

---

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ И СТРУКТУРЫ НОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОРОД

Исследования коллекторских свойств горных пород прочно вошли в практику поисково-разведочных работ на нефть и газ. Все большее значение такого рода исследования приобретают в связи с изучением рудных месторождений в осадочных и магматических породах [2, 3, 11, 12, 13]. Получающиеся при этом результаты позволяют глубже и более обоснованно решать некоторые спорные вопросы генезиса месторождений.

Коллекторские свойства пород определяются их проницаемостью и пористостью. Очень важно при этом изучение структуры порового пространства, под которой понимают величину, форму и расположение пор, мелких каверн и трещин [1, 14, 15].

Пористость осадочных пород может быть первичной и вторичной. К первичной пористости относится та часть пор, которая обусловлена формой, величиной и расположением частиц, слагающих породу, т. е. определяется составом и условиями образования осадка (седиментационная и диагенетиче-

ская пористость). Вторичную пористость составляют те поры, которые возникают в результате перекристаллизации и выщелачивания породы и нарушения ее сплошности под влиянием тектонических воздействий (эпигенетическая пористость и трещиноватость).

Пористость горных пород можно выразить количественно, посредством коэффициентов пористости, причем различают несколько видов пористости: полную или абсолютную, открытую, эффективную и динамическую [7, 8, 9]. Наибольшее значение для характеристики ураноносных осадочных пород имеет коэффициент открытой пористости ( $P_{от}$ ), который представляет собой отношение суммарного объема открытых (т. е. сообщающихся) пор образца к его общему объему. В настоящем руководстве для характеристики открытой пористости пород принят более распространенный термин «эффективная» пористость ( $P_{эф}$ ), хотя между понятиями открытой и эффективной пористости породы имеются некоторые отличия. При одном и том же значении коэффициента открытой пористости породы с более мелкими или сложной формы порами имеют худшую проницаемость, чем породы с более крупными порами. В связи с этим, кроме величины пористости, необходимо иметь представление о структуре порового пространства. Структура пор изучается под микроскопом в прозрачных шлифах. Шлифы изготовляют из специально подготовленных пропитанных окрашенной бакелитовой смолой образцов [15]. В случае исследования урансодержащих пород целесообразно каждый образец, пропитанный бакелитом, распиливать пополам и из половинок готовить прозрачные шлифы. Один шлиф с покровным стеклом — для изучения его под микроскопом, а другой, непокрытый — для изготовления микрорадиографии. Совместный просмотр окрашенного шлифа и микрорадиографии дает возможность судить о распределении урановой минерализации в зависимости от структуры породы и ее порового пространства.

Определение проницаемости пород выполняется с помощью более сложной аппаратуры [5, 6], чем определение пористости, поэтому нередко о коллекторских свойствах породы судят по ее пористости, что вполне приемлемо, учитывая, что между этими двумя величинами имеется прямая зависимость.

Коэффициент эффективной пористости сцементированных (неосыпающихся или незначительно осыпающихся) пород может быть определен двумя способами: принудительного или форвакуумного насыщения (способ И. А. Преображенского [10]) и свободного насыщения. Последний не требует специального оборудования, но занимает много времени (30—45 суток), тогда как для анализа партии образцов первым способом необходимо не более двух суток.

## А. Способ принудительного насыщения

Для определения  $P_{вф}$  монтируется установка, схема которой дана на рис. 38. Все части установки соединяются отрезками резинового вакуумного шланга. Съёмными в этой установке являются крышка вакуум-эксикатора (ВЭ) и пробка делительного цилиндра (ДЦ). Все остальные места соединений стеклянных и металлических частей с резиновыми трубками должны быть покрыты тонким слоем вакуумной смазки и залиты менделеевской замазкой. Стеклянные пробки ВЭ и ДЦ должны быть заменены резиновыми со сверленными отверстиями, через которые пропускают двух- и трехходовые краны.

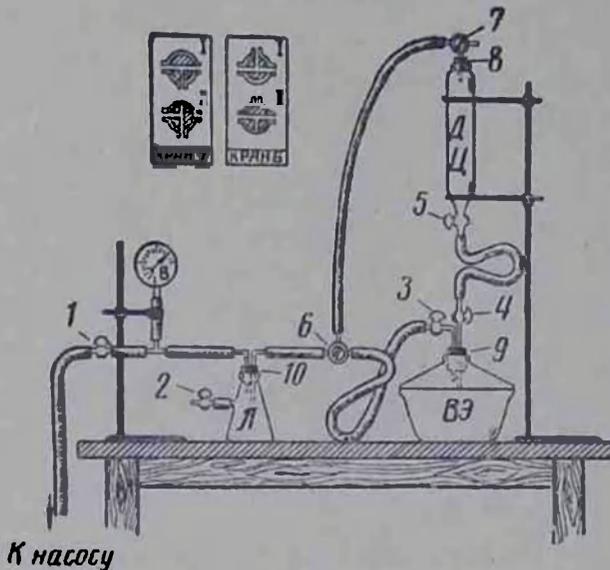


Рис. 38. Форвакуумная установка:

1—5 — двухходовые краны; 6—7 — трехходовые краны; 8—10 — резиновые пробки; ДЦ — делительный цилиндр; ВЭ — вакуум-эксикатор; Л — ловушка для керосина из колбы Бунзена; В — вакуумметр стрелочный. В рамках показаны рабочие положения трехходовых кранов.

довые краны. Трущиеся поверхности всех кранов, пробку 8, контактные пришлифованные поверхности ВЭ и его крышки перед пуском установки смазывают тонким слоем вакуумной смазки. Когда монтаж установки закончен, проверяют ее герметичность. Для этого закрывают ДЦ пробкой, а ВЭ — крышкой и плотно протирают последнюю. Затем при всех открытых кранах включают насос, после чего плавно закрывают краны 2 и 7, тем самым изолируют систему от атмосферы. Когда стрелка вакуумметра достигнет минимальной отметки на шкале (обычно 20 мм) и остановится, мотор выключают. Если низкое показание вакуумметра сохраняется длительное время, то система изолирована надежно. Убедившись в этом, можно начинать работу.

Определение  $P_{эф}$  способом принудительного насыщения складывается из следующих операций:

- 1) подготовка образцов к анализу;
- 2) взвешивание сухого образца (вес  $P$ );
- 3) насыщение образцов керосином (водой) \*;
- 4) взвешивание образца (с проволочкой), насыщенного керосином, в керосине (вес  $P_k$ );
- 5) удаление с образца излишнего керосина;
- 6) взвешивание образца, насыщенного керосином, на воздухе (вес  $P_n$ ).

Взвешивания выполняют с точностью до 0,01 г и результаты заносят в журнал (табл. 10). Если образец частично осыпается, то его помещают в стаканчик и все операции выполняют, не вынимая образца из стаканчика. Песок, осыпавшийся в стаканчик, промывают бензолом, сушат и взвешивают (вес  $a$ ). Вычисляют  $P_{эф}$  по формуле

$$P_{эф} = \frac{P_n - (P - a)}{P_n - (P_k - v)} \cdot 100\%.$$

Вес проволочки ( $v$ ) обычно незначителен и им пренебрегают. Для определения  $P_{эф}$  подбираются партии образцов по 20 штук. Отдельные операции, перечисленные в пунктах 1—6, сводятся к следующему.

Таблица 10

Журнал определений коэффициента пористости  
(форвакуумное насыщение)

№ п/п	№ образцов	Значение веса в г											
		v	P		P <sub>k</sub>		P <sub>n</sub>		a		P <sub>эф</sub>		
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	средн.
1	471 <sub>I</sub> 471 <sub>II</sub>	0,24	22,83	39,74	17,12	28,91	23,14	40,23	—	—	4,80	4,25	4,5
2	473 <sub>I</sub> 473 <sub>II</sub>	0,24	20,50	28,28	15,50	13,89	20,67	18,35	—	—	3,05	3,81	3,4

Подготовка образцов. От керна или штуфа отбивают по два образца весом 20—30 г., не имеющих трещин (проверяют под лупой). Напильником стачивают острые края и выступающие углы, очищают образцы щеткой. На каждой паре образцов тушью проставляют их номер с индексами I

\* Керосин предпочтительней, так как в нем не размокают глины и породы с глинистым цементом.

и II. Образцы, содержащие нефть или битум, экстрагируют в аппарате Закса (см. соответствующий раздел). Всю партию образцов сушат в сушильном шкафу при температуре  $+105^{\circ}$ . Путем неоднократного взвешивания после охлаждения образца в эксикаторе с поглотителем влаги добиваются его постоянного веса (вес  $P$ ).

Насыщение образцов. Исходное положение установки должно отвечать следующему положению ее отдельных узлов (рис. 38): крышка ВЭ и пробка ДЦ сняты, кран 6 в положении I, кран 5 закрыт, все остальные краны открыты.

1. Заливают ДЦ керосином и закрывают пробкой 8, кран 7 ставят в положение II. Подготовленные и взвешенные сухие образцы складывают на дно ВЭ; осыпающиеся образцы ставят в стаканчиках, в которых они взвешивались; закрывают ВЭ крышкой и плотно ее притирают.

2. Включают насос и плавно закрывают кран 2, изолируя установку от атмосферы. Когда выделение пузырьков из керосина в ДЦ прекратится, ставят кран 6 в положение II и продолжают откачку воздуха только из ВЭ (3—4 часа).

3. Кран 6 возвращают в положение I; если из керосина пузырьков больше не выделяется, то приоткрывают краны 4 и 5 так, чтобы керосин под влиянием силы тяжести поступал в ВЭ частыми каплями (не струей). Когда керосин покроет образцы, краны 4 и 5 закрывают, а кран 6 ставят в положение II. Образцы, залитые керосином, следует вакуумировать не менее 2—4 часов. Если к концу рабочей смены вакуумирование не закончено, то продолжают его на следующий день. Для этого закрывают краны 1 и 3, выключают насос и в таком положении оставляют установку до утра.

4. Закончив вакуумирование образцов, плавно открывают все двухходовые краны, а трехходовые ставят в положение I. Снимают пробку 8 и крышку ВЭ. Образцы перекадывают в кристаллизатор с керосином и относят к весам. Из ВЭ удаляют керосин, очищают и протирают всю установку, смазывают съемные части и краны и приводят установку в исходное положение. Помещают в ВЭ новую партию подготовленных образцов.

Взвешивание образцов в керосине. Каждый насыщенный образец поочередно вынимают из кристаллизатора, затягивают в петлю проволоки, подвешивают к коромыслу и опускают в стакан с керосином, помещенный над чашкой весов на подставке (рис. 39). Взвешивание выполняют, следя за тем, чтобы образец не касался стенок стакана и поверхности керосина (искажение веса за счет сил поверхностного натяжения). Взвешенные образцы возвращают в кристаллизатор. Осыпающиеся образцы взвешивают в стаканчиках, которые затягивают в проволочную петлю и погружают вместе с образцами в керосин.

Удаление излишнего керосина выполняют для каждого образца отдельно перед самым его взвешиванием, а не для всей партии образцов сразу. Образец достают из кристаллизатора и перекалывают его на чистом стекле с места на место столько раз, чтобы образец не оставлял капель керосина на стекле. Стаканчики с осыпавшимися образцами, после слива из них керосина, вытирают снаружи досуха тряпочкой, а излишек керосина со дна стаканчика удаляют полосками фильтровальной бумаги.

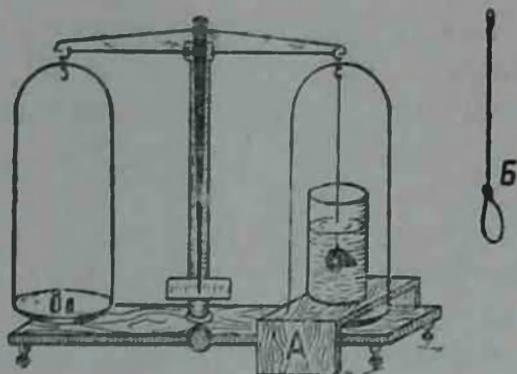


Рис. 39. Весы лабораторные технические с подставкой (А) и проволоочной петлей (Б) для взвешивания образцов в керосине.

Взвешивание насыщенных образцов в воздухе выполняют обычным образом, на чашке весов. Осыпавшийся песок из каждого стаканчика промывают бензолом, сушат и взвешивают без стаканчика.

Расчеты. Вычисляют для каждого образца  $P_{эф}$  по формуле (см. выше). Для осыпавшихся образцов в значения  $P$ ,  $P_k$  и  $P_n$  вводят общий вес образца и стаканчика. Из двух определений  $P_{эф}$  для дублетных образцов находят среднюю величину и проставляют в журнал. Допустимое расхождение параллельных определений  $P_{эф}$  для двух дублетных образцов не должно превышать 1%.

## Б. Способ свободного насыщения

Подготовленные и взвешенные сухие образцы укладывают в один слой на дно кристаллизатора, в который по каплям пускают керосин, пока все образцы не скроются под слоем керосина. Замачивание образцов продолжают около часа, так как при быстром заполнении кристаллизатора часть воздуха остается в образцах. В журнал (табл. 11) записывают дату, время окончания замачивания и температуру керосина. Далее через интервалы в 1, 3, 5, 10, 15, 30 и 45 суток со дня замачивания производят замер температуры керосина и взвешивание насыщенных образцов (вес  $P_n$ ), после предварительного

Журнал определенных коэффициента эффективной пористости  $P_{эф}$   
(свободное насыщение)

№ п/п	№ образцов	в в з	Р в з	Р <sub>н</sub> в з							P <sub>эф</sub>					
				1 сутки	2 суток	5 суток	10 суток	15 суток	30 суток	45 суток	а в з	Рк в з	I	II	сред.	
1	Дата	—	30.VI	1.VII	3.VII	5.VII	10.VII	15.VII	30.VII	—	30.VII	—	—	—	—	—
	t керосина	—	—	19,7°	19,8°	20,1°	20,1°	20,1°	20,1°	—	20,1°	—	—	—	—	—
2	471 <sub>I</sub>	0,24	22,83	23,05	23,10	23,12	23,15	23,14	23,15	—	17,12	4,80	—	—	4,5	—
	471 <sub>II</sub>	.	39,74	40,02	40,12	40,17	40,22	40,22	40,22	—	28,91	—	—	4,25	—	—

удаления избытка керосина с каждого образца. Результаты заносят в журнал. Если насыщение образцов до постоянного веса наступает ранее 45 суток (сходимость результатов трех последних взвешиваний с отклонением не более 1% от веса образца), то такие образцы не возвращают в кристаллизатор, а переходят к следующей операции: определяют их вес в керосине ( $P_k$ ). Значение  $P_{эф}$  вычисляют по той же формуле, что и в методе Преображенского. Температура керосина в кристаллизаторе в процессе насыщения образцов не должна сильно отклоняться от комнатной.

При насыщении образца рекомендуется применять очищенный керосин. Очистка его предусматривает следующие операции. В бутылку с керосином прибавляют концентрированную  $H_2SO_4$  в количестве 1% от объема керосина. Встряхивают бутылку в течение 30 мин, затем оставляют ее, чтобы осели отходы (кек). Керосин переливают в другую бутылку и снова очищают его кислотой один-два раза, удаляя кек. Для нейтрализации кислоты прибавляют раствор щелочи или аммиака в количестве 0,03% от объема керосина и снова встряхивают 30 мин. Прибавляют воды и встряхивают бутылку, проверяя нейтральность среды лакмусовой бумажкой. После расслоения воды и керосина последний сливают в чистую бутылку. Если керосин получается мутный, то надо его профильтровать через вату или бумажный фильтр.

Пропитка образцов бакелитом. Подготовка образцов для изучения структуры порового пространства сводится к следующим операциям (по М. А. Цветковой) [15].

1. Разводят бакелитовую смолу до определенной вязкости (рекомендуется 6° Энглера) этиловым спиртом, окрашенным родамином С (1 г красителя на 250 г спирта). Вязкость устанавливают с помощью вискозиметра.

2. Пронумерованные ориентированные образцы складывают по одному в пронумерованные фарфоровые тигли и заливают до верха раствором бакелита.

3. Тигли помещают в вакуум-эксикатор и откачивают воздух в течение 6—8 часов до полного прекращения выделения пузырьков.

4. Ставят тигли в сушильный шкаф или на водяную баню при  $t^\circ 35—40^\circ$  на двое суток. За это время бакелитовый раствор превращается в студень, плотно покрывающий образцы.

5. Извлекают образцы из тиглей, помещают их в фунтики из кальки и кладут в чистые тигли с теми же номерами. Тигли вторично сушат при  $t^\circ 60—70^\circ$  до полной полимеризации (затвердевания) бакелита, для чего требуется несколько суток. Ускорение сушки за счет повышения  $t^\circ$  недопустимо, так как бакелит «выкипает» из образцов. К подготовленным образцам приклеивают бирочки с № образца и ориентирной стрел-

Таблица 12

Оборудование и материалы, необходимые для определения  $P_{эф}$  способами форвакуумного (А) и свободного (Б) насыщения

Наименование	Единица измерения	Количество	
		А	Б
Насос вакуумный ВН-461 м с электромотором 0,6 квт	компл.	1	—
Вакуметр стрелочный В-150	шт.	1	—
Весы технические Т-200 с разновесами Г-2-20	компл.	1	1
Шкаф сушильный Ш-005	„	1	1
Штатив химический	„	2	—
Вакуум-эксикатор	шт.	1	—
Цилиндр делительный на 1000 мл	„	1	—
Колба Бунзена на 250 мл с тубусом	„	1	—
Кран трехходовой	„	2	—
Кран двухходовой	„	4	—
Тройник стеклянный	„	1	—
Трубка вакуумная резиновая с наружным диаметром 22 мм	мт.	5	—
Эксикатор для сушки образцов	шт.	1—2	1—2
Кристаллизатор диам. 310 мм или фотокувета 24 × 36	„	1—2	10—15
Стакан химич. стеклянный 500 мл	„	1	1
100 мл	„	10	10
Щипцы тигельные	„	1	1
Подставка к весам для стакана	„	1	1
Щетка волосяная	„	1	1
Керосин	„	+	+
Смазка вакуумная	„	+	—
Замазка менделеевская	„	+	—
Масло марки ВМ-4 для вакуумного насоса	„	+	—

кой и передают их в шлифмастерскую для изготовления ориентированных шлифов.

Более полное насыщение образцов достигается, если залить бакелитом предварительно вакуумированные образцы, как при определении пористости. Для этого необходимо иметь вторую форвакуумную установку, подключенную параллельно первой к одному вакуумному насосу с помощью трехходового крана, который ставится вместо двухходового крана I (рис. 38). При заполнении вакуум-эксикатора бакелитовым раствором последний должен покрывать тигли с образцами. После окончания насыщения образцы перекладывают в чистые тигли с теми же номерами, заполняют тигли раствором бакелита и ставят их в сушильный шкаф. Остаток раствора сливают из эксикатора в склянку, а тигли, в которых насыщались образцы, и эксикатор отмывают водным раствором аммиака.

Приемы микроскопического изучения структуры порового пространства описаны в работах Авдусина и Цветковой [1] и Теодоровича [14].

Оборудование и материалы: установка форвакуумная; вискозиметр универсальный ВУ; баня водяная или сушильный шкаф; тигли фарфоровые № 4 и 5; смола бакелитовая БСЛ-1 (лак бакелитовый); родамин С; спирт этиловый; аммиак (водный раствор).

### Интерпретация результатов определения пористости

Опыт изучения урановых месторождений Плато Колорадо [4] и других районов показал важное значение коллекторских свойств осадочных пород для локализации в них промышленного уранового оруденения. Соединения легкоподвижного  $U^{6+}$  могут переноситься подземными водами в пластах проницаемых пород на значительные расстояния. Если по пути движения вод встречаются локальные геохимические, литологические и структурные «барьеры», то создаются условия для накопления урана. Так возникают эпигенетические и гидрогенные месторождения урана, одной из характерных черт которых является приуроченность рудных тел к пачкам проницаемых, обычно песчаных пород, переслаивающихся с малопроницаемыми глинистыми и другими породами. Поэтому при поисковых и разведочных работах в районах, благоприятных для развития эпигенетических и гидрогенных месторождений урана, изучение проницаемости и пористости пород должно быть неотъемлемой частью комплекса полевых и лабораторных исследований. Результаты определений коэффициентов пористости и проницаемости наносят на разрезы и профили или изображают в изолиниях на картах [4].

При выяснении спорных вопросов генезиса уранового оруденения в осадочных породах наряду с литолого-фациальным и структурно-тектоническим анализом важное значение может иметь определение коллекторских свойств пород, так как одним из основных доводов в пользу привноса урана откуда-то извне считается повышенная проницаемость рудосодержащих пород по сравнению с породами, лишенными уранового оруденения и менее проницаемыми для рудоносных растворов. В то же время низкие значения  $\Pi_{эф}$  в ураноносных породах являются доводом в пользу ранних стадий образования уранового оруденения. Ниже, на примере ураноносных карбонатных пород показано, как могут быть использованы данные определения  $\Pi_{эф}$  при решении вопросов генезиса уранового оруденения.

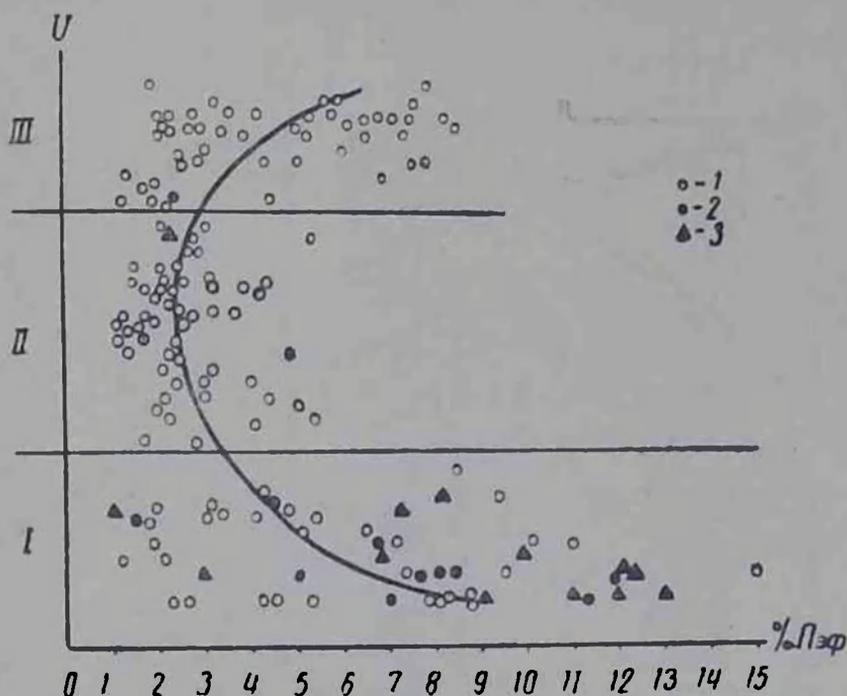


Рис. 40. Соотношение между содержанием урана и  $\Pi_{эф}$  в карбонатных породах:

1 — известняки оолитовой структуры; 2 — известняки органогенной структуры; 3 — доломиты и известковые доломиты кристаллической структуры. I — бедные руды; II — руды со средним содержанием урана; III — богатые руды.

На рис. 40 представлена диаграмма соотношения между содержанием урана и пористостью для одного из карбонатных горизонтов, сложенного известняками оолитовой и органогенной структуры и кристаллическими доломитовыми известняками и доломитами.

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о том, что известняки оолитовой и органогенной структуры обладают значительно меньшей пористостью, чем доломиты и доломитовые известняки, которые либо подстилают, либо пе-

рекрывают известняки рудного горизонта и играют второстепенную роль, как породы рудосодержащие.

Оолитовые и органогенные известняки, попадающие в нижнее поле графика (I на рис. 40), являются краевыми частями пластово-линзовидных рудных тел или их стратиграфическими аналогами. Образцы, сосредоточенные в средней части горизонта (II на рис. 40) относятся к основной части рудных тел, а формы концентрации рудного вещества в этих породах могут быть отнесены главным образом к диагенетическим (оруденение равномерное, пятнистое и по концентрам оолитов). Тектурно-структурные особенности образцов, расположенных в верхней части графика (III на рис. 40), свидетельствуют о наличии эпигенетических преобразований рудосодержащих пород, которые происходили в условиях несколько повышенной их пористости (оруденение по стилолитовым швам и трещинам).

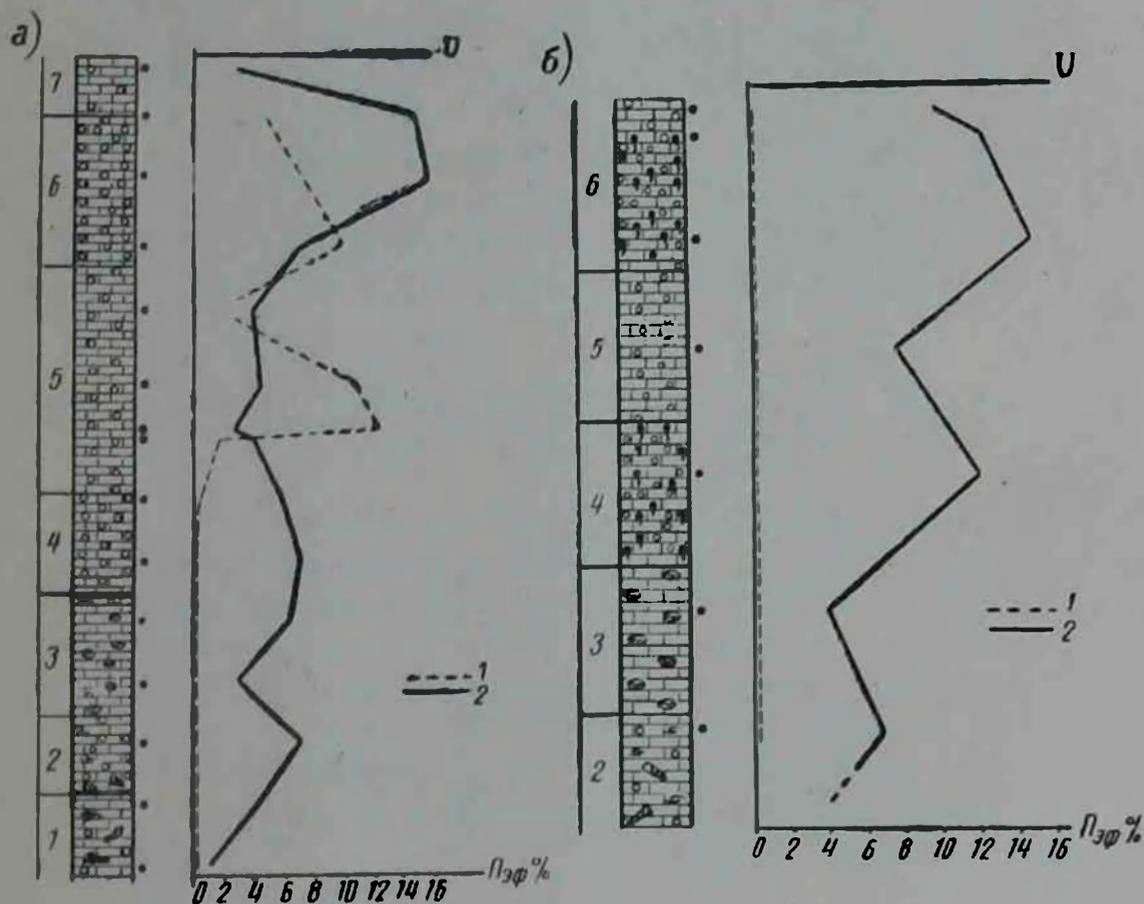


Рис. 41. Содержание урана (1) и изменение  $P_{эф}$  (2) в слоях ураноносного карбонатного горизонта:

а — разрез по рудному телу; б — разрез на безрудном участке.

На рис. 41 представлены два неполных разреза другого ураноносного и нефтеносного карбонатного горизонта, один из которых (а) отобран по рудному телу, а другой (б) — в пустых породах, но на том же стратиграфическом интервале. Из

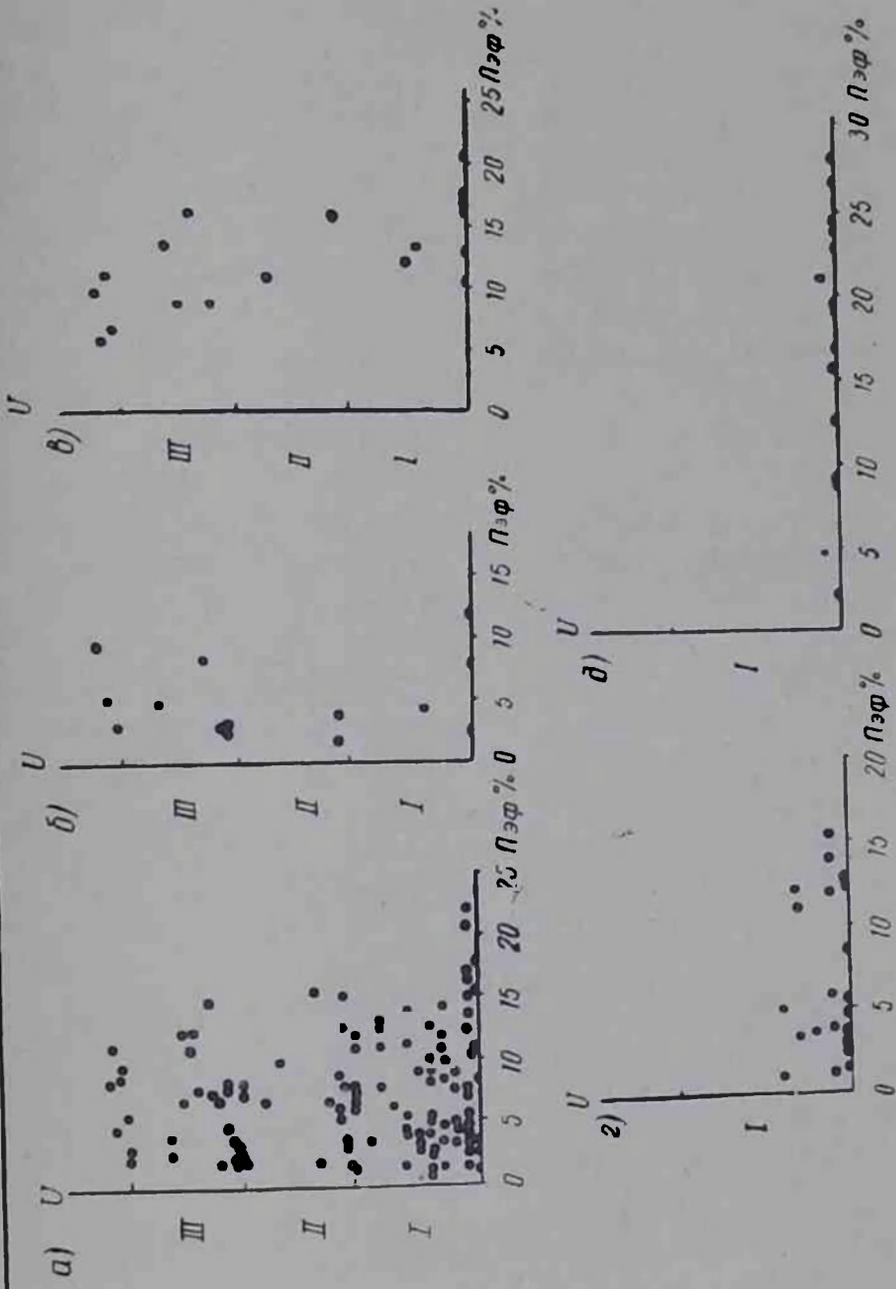


Рис. 42. Диаграммы  $U - P_{эф} \%$  для образцов из ураноносного карбонатного горизонта:

а — весь горизонт; б и в — два слоя рудоносной средней известняковой пачки; г — безрудная нижняя известняковая пачка; б — безрудная верхняя пачка доломитов и мергелей. I, II и III — низкие, средние и высокие содержания урана.

сравнения этих двух разрезов видно, что кривые изменения пористости от слоя к слою имеют сходный вид и в том и другом разрезе, то есть для породы каждого слоя характерны определенные значения  $P_{эф}$ . Урановое оруденение локализуется в породах вне зависимости от величины их пористости, тогда как явно поздние, наложенные концентрации нефти приурочены к наиболее пористым известнякам слоев 4 и 6. Полный разрез этого карбонатного горизонта имеет трехчленное деление. Нижняя безрудная пачка представлена органическими известняками, средняя рудоносная — органично-оолитовыми известняками, верхняя безрудная — кристаллическими доломитами и мергелями. На рис. 42 показаны диаграммы соотношений между содержанием  $U$  и коэффициентом  $P_{эф}$  для образцов, отобранных из ряда разрезов по всему горизонту (а) и отдельным его интервалам (б—д). Отчетливо видно, что ни для всего горизонта в целом, ни для отдельных его стратиграфических интервалов не имеется какой-либо зависимости между содержанием урана в образцах и коэффициентом пористости.

Из приведенных примеров становится очевидным, что локализация уранового оруденения в описанных карбонатных породах не находится в какой-либо закономерной зависимости от их коллекторских свойств и, следовательно, не может быть объяснена привнесом урана подземными водами в уже сформировавшиеся карбонатные породы. Данные изучения  $P_{эф}$  лишь подтверждают выводы, полученные на основании литолого-фацциального анализа, о решающей роли стадии диагенеза в образовании повышенных концентраций урана в карбонатных плах, обогащенных органическим веществом [2, 3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. АВДУСИН П. П., ЦВЕТКОВА М. А. О структуре порозых пространств песчаных коллекторов нефти. Докл. АН СССР, 1938, т. XX, № 2—3.
2. ДАНЧЕВ В. И., КОРНИЛОВ А. М., НЕЙМЫШЕВ М. В., ОЛЬХА В. В., ПРОШЛЯКОВ Б. К., СТРЕЛЯНОВ Н. П. и СЫТНИКОВ М. П. Об урановом оруденении в карбонатных осадочных породах. «Геология рудных месторождений», № 6, 1959.
3. ДАНЧЕВ В. И. и ОЛЬХА В. В. Некоторые вопросы генезиса уранового оруденения в связи с изучением эффективной пористости рудо-содержащих карбонатных пород. «Известия АН СССР», сер. геол., № 7, 1959.
4. ДЖОБИН Д. А. Региональная способность пропускания осадочных пород плато Колорадо и ее влияние на размещение урановых месторождений. В кн. «Геология атомных сырьевых материалов». Госгеолтехиздат, М., 1956.
5. ЗАКС С. Л. Установка ЛП-1 для определения проницаемости горных пород. «Разведка недр», № 5, 1941.
6. ЗАКС С. Л. и БУРМИСТРОВА В. Ф. Исследование физических свойств слабо сцементированных нефтегазосодержащих пород. Труды Инст. нефти АН СССР, т. III, 1954.

7. ЗАЛЕССКИЙ Б. В. и КОРОТКОВА О. Н. Пористость осадочных пород. В кн. «Методы изучения осадочных пород». Том. I, Госгеолтехиздат, М., 1957.
8. КОТЯХОВ Ф. И. Основы физики нефтяного пласта. Гостоптехиздат, М., 1956.
9. Методы исследования кернов. Под ред. МАКСИМОВИЧА Г. К. Гос-топтехиздат, М., 1948.
10. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ И. А. Определение пористости несыпучих пород. «Азербайджанское нефтяное хозяйство», № 1. 1938.
11. РОЗАНОВ Ю. А. Пористость горных пород и ее роль в локализации эндогенного оруденения. «Геология рудных месторождений», № 2, 1961.
12. РОЗАНОВ Ю. А., КРИСТАЛЬНЫЙ Б. В., НЕКРАСОВ Е. М. и ПАШКОВСКАЯ М. Д. Изменения пористости рудовмещающих пород некоторых месторождений Северного Таджикистана. Труды Института геол. рудных месторождений АН СССР, вып. 41, 1961.
13. СТРЕЛЯНОВ Н. П. К методике определения пористости и структуры порового пространства несыпучих горных пород (описание установки). «Геология рудных месторождений», № 5, 1962.
14. ТЕОДОРОВИЧ Г. И. Структура порового пространства карбонатных коллекторов нефти и их проницаемость. Докл. АН СССР, № 6, т. 39, 1943.
15. ЦВЕТКОВА М. А. К методике определения эффективной пористости пород коллекторов нефти. «Известия АН СССР», отд. техн. наук, № 5, 1949.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ПО НЕКОТОРЫМ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДАМ, НЕ РАССМОТРЕННЫМ В ДАННОМ РУКОВОДСТВЕ

### § 1. Химические методы исследования вещественного состава руд и пород

Методы изучения осадочных пород. Том. II. Госгеолтехиздат, М., 1957.

- ПЧЕЛИНЦЕВ Д. А. Ускоренный метод определения карбонатного кальция и магния в известняках, доломитах и мергелях. В сб. «Кора выветривания», Изд. АН СССР, М., вып. 2, 1956.
- СОЧЕВАНОВА М. М. Опыт применения трилона Б при анализе минерального сырья. В кн. «Химические и физико-химические методы анализа минерального сырья». Госгеолтехиздат, М., 1955.

### § 2. Анализ глинистых и карбонатных минералов методом окрашивания

- ВЕДЕНЕЕВА Н. Е. и ВИКУЛОВА М. Ф. Метод исследования глинистых минералов с помощью красителей и его применение в литологии. Госгеолтехиздат, М., 1952.
- Исследование и использование глин. (Материалы совещания во Львове в мае — июне 1957). Изд. Львовского ун-та, Львов, 1958.
- ЛОГВИНЕНКО Н. В. Хроматические реакции при определении карбонатных минералов. В кн. «Методы исследования осадочных пород». Том I. Госгеолтехиздат., М., 1957.
- РАТЕЕВ А. М. Исследование глинистых пород с помощью органических красителей и спектрофотометрии. В кн. «Методы изучения осадочных пород». Том I. Госгеолтехиздат, М., 1957.

### § 3. Термический анализ

- АМБАРЦУМЯН Ц. Л., БАСАЛОВА Г. И., ГОРЖЕВСКАЯ С. А. и ХОДЖАЕВА Р. П. Термические исследования урановых и ураносодержащих минералов. Госатомиздат, 1961.
- ВИКУЛОВА М. Ф. Термический анализ. В кн. «Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин». Госгеолтехиздат, М., 1957.
- ЦВЕТКОВ А. И. Диагностика и количественные определения минералов осадочных пород с помощью термического анализа. В кн. «Методы изучения осадочных пород». Том I, Госгеолтехиздат, М., 1957.

### § 4. Методы радиометрии и радиографии

- БАРАНОВ В. И. Радиометрия. Изд. АН СССР, М., 1956.
- МЕЖИБОРСКАЯ Х. Б., ШАШКИН В. Л. и ШУМИЛИН И. П. Анализ радиоактивных руд  $\beta$ - и  $\gamma$ -методом. Атомиздат, М., 1960.
- ПЕТРОВ Г. И., КУТЕНКОВ М. К., ТЕНЕНБАУМ И. М., ЕВСЕЕВА Л. С. Методы геолого-геофизического обслуживания урановых рудников. Атомиздат, М., 1960.
- Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд. Под ред. В. В. Алексеева. Госгеолтехиздат, М., 1957.
- Справочник по радиометрии (для геофизиков и геологов). Госгеолтехиздат, М., 1957.
- ЯКУБОВИЧ А. Л. Сцинтилляционная радиометрическая аппаратура и возможности ее применения для геологических поисков и разведки. Углетехиздат, М., 1958.
- БАРАНОВ В. И., ТЛЕУБЕРГЕНОВА Г. Применение метода микрорадиографии с использованием жидких эмульсий для изучения содержания и распределения радиоактивных минералов в горных породах. «Геохимия», № 2, 1956.

### § 5. Люминесцентно-битуминологический анализ

- ФЛОРОВСКАЯ В. Н. Люминесцентно-битуминологический метод в нефтяной геологии. Изд. Моск. ун-та, М., 1957.
- РОДИОНОВА К. Ф. Изучение органического вещества, рассеянного в осадочных породах. В кн. «Методы изучения осадочных пород». Том II, Госгеолтехиздат, М., 1957.

### § 6. Анализ шлихов и протолочек горных пород

- БИЛИБИН Ю. А. Основы геологии россыпей. Изд. АН СССР, М., 1956.
- КОПЧЕНОВА Е. В. Минералогический анализ шлихов. Госгеолтехиздат, М., 1951.
- ЛОЖКИН В. В. Диагностика минералов россыпей. Госгеолтехиздат, М., 1962.
- ОЗЕРОВ И. М. Шлиховая съемка и анализ шлихов. Гостоптехиздат, Л., 1959.
- СТРЕЛЯНОВ Н. П. Способ быстрого приближенного определения количества минералов в шлихах. В кн. «Материалы по геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. Изд. АН СССР, М., 1959.
- ЧУЕВА М. Н. Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. Госгеолтехиздат, М., 1950.

## § 7. Текстуры и структуры руд и осадочных пород

- БЕТЕХТИН А. Г., ГЕНКИН А. Д., ФИЛИМОНОВА А. А. и ШАДЛУН Т. Н. Текстуры и структуры руд. Изд. АН СССР, М., 1958.
- ЗАВАРИЦКИЙ А. Н. Введение в петрографию осадочных пород. ОГИЗ, ГНТИ. М.—Л., 1932.
- Методы изучения осадочных пород. Том I. Госгеолтехиздат, М., 1957.
- ПОЛОВИНКИНА Ю. И. и др. Структуры горных пород. Том II, М.—Л., 1948.
- Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Том I, Гостоптехиздат., Л., 1958.
- ТАЛДЫКИН С. И., ГОНЧАРИК Н. Ф., ЕНИКЕЕВА Г. И. и РОДИНА Б. Б. Атлас структур и текстур руд. М., Госгеолтехиздат, 1954.
- ШАХОВ Ф. Н. Текстуры руд. Изд. АН СССР, М., 1961.
- ШВЕЦОВ М. С. Петрография осадочных пород. Госгеолтехиздат, М., 1958.
- ЮШКО С. А. Новая генетическая классификация текстур и структур руд. «Сов. геология», № 2, 1962.

## § 8. Оптические методы исследования минералов

- Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Том I. Л., Гостоптехиздат, 1958.
- ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ И. А. и САРКИСЯН С. Г. Минералы осадочных пород. Гостоптехиздат, М., 1954.
- ТАТАРСКИЙ В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод определения веществ. Л., Изд. Ленингр. Гос. ун-та, 1949.
- ТЕОДОРОВИЧ Г. И. Аутигенные минералы осадочных пород. Изд. АН СССР, М., 1958.
- ФЕДИН Л. А. Микроскопы, принадлежности к ним и лупы. Оборонгиз, 1961.

## § 9. Спектральный анализ

- ИНДИЧЕНКО Л. Н. Спектральный анализ минеральных веществ. Изд. АН СССР, М., 1960.
- РУСАНОВ А. К. Спектральный анализ руд и минералов. Госгеолиздат, М.—Л., 1948.
- ФАККИНИ У. и др. Анализ урановых и ториевых минералов по спектрам. «Бюллетень научно-технической информации» (Министерство геологии и охраны недр СССР), № 4, 1958.

## § 10. Рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализы

- БЛОХИН М. А. Физика рентгеновских лучей. Гостехиздат, М., 1957.
- БЛОХИН М. А. Методы рентгеноспектральных исследований. Физматгиз, М., 1959.
- БОКИЙ Г. Б. и ПОРАЙ-КОШИЦ М. А. Практический курс рентгено-структурного анализа. Изд. Моск. ун-та, М., 1951.
- БОРОВСКИЙ И. Б. Физические основы рентгеноспектральных исследований. Изд. Моск. ун-та, М., 1956.
- КИТАЙГОРОДСКИЙ А. И. Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел. Гостехтеориздат, М.—Л., 1952.
- ХЕВЕШИ Г. Рентгенохимический анализ и его применения. Госхимиздат, М.—Л., 1940.
- ШМЕЛЕВ В. К. Рентгеновские аппараты. Госэнергоиздат, М.—Л., 1949.

## ГЛАВА V

### ОРГАНИЗАЦИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

При выяснении вопросов генезиса и закономерностей локализации уранового оруденения в осадочных горных породах поисково-разведочные работы должны подкрепляться разносторонними лабораторными исследованиями как самих руд, так и вмещающих пород. Для этого в геологоразведочных экспедициях и крупных партиях наряду с другими лабораториями необходимо иметь литологическую лабораторию с присутствующими ей специфическими методами исследования. При организации такой лаборатории необходимо принять во внимание:

- 1) комплекс методов исследования;
- 2) кадры;
- 3) помещения;
- 4) оборудование и материалы.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выше были перечислены важнейшие методы изучения вещественного состава и свойств ураноносных осадочных пород (табл. 4 и 5). Если исключить из этого списка те методы анализа, которые выполняются в специализированных лабораториях (спектральный, рентгено-структурный, химический и др.) и некоторые методы, потребность в которых возникает при решении частных вопросов генезиса уранового оруденения, то может быть намечен примерно следующий комплекс исследований:

- радиометрический анализ;
- приготовление радиографий и микрорадиографий;
- перлово-люминесцентный анализ на уран;
- гранулометрический анализ;
- определение коэффициента эффективной пористости;
- методы исследования органического вещества: определение  $C_{орг}$ , гуминовых кислот, люминисцентно-битуминологический анализ;
- карбонатный анализ;

фотометрическая характеристика цвета пород;  
анализ глинистых минералов и карбонатов методами окра-  
шивания;

оптические методы исследования пород, руд и минералов.

Перечисленные виды анализов разнородны, то есть относятся к физическим, химическим и др. методам исследований. Поэтому, в зависимости от конкретных условий, они могут быть объединены в составе одной литологической лаборатории, либо выполняться в смежных лабораториях. Главное, к чему следует стремиться, — это: 1. Лаборатория должна быть максимально приближена к районам полевых работ. 2. По всем видам анализов желательно обеспечить массовые определения, что позволяет применять статистическую и графическую обработку результатов.

### КАДРЫ

Штаты литологической лаборатории должны состоять из инженера-литолога и нескольких лаборантов, число которых определяется объемом работ. Важно, чтобы каждый лаборант владел всеми методами анализов, выполняемых в данной лаборатории. При подготовке лаборантов необходимо обеспечить усвоение ими главной литературы, рекомендуемой в данном руководстве. Если литологическая лаборатория только организуется и лаборанты не имеют достаточного опыта работы, то необходимо организовать стажировку лаборантов в действующих лабораториях сходного профиля. Местами стажировки по отдельным видам анализов могут являться также химические лаборатории, лаборатории геолого-поисковых и разведочных нефтяных экспедиций, инженерно-геологических экспедиций и партий. Для качественного выполнения анализов необходимо, чтобы лаборанты не только хорошо усвоили методику анализов, но и ясно представляли их цель и назначение. Следует поэтому ознакомить лаборантов с теоретическими основами литологии и содержанием полевых литологических исследований.

### ПОМЕЩЕНИЕ

Размеры и оборудование помещения для литологической лаборатории зависят от объема работ, конкретных условий и возможностей. Желательно размещение лаборатории в 4-х комнатах.

1. Комната для гранулометрического анализа площадью не менее 12 кв. м, в которой должны быть специальный лабораторный стол, вытяжной шкаф, столик для весов, письменный стол, водопроводная раковина с двумя кранами, дневной и верхний свет, штепсельные розетки. Краны монтируются с по-

мощью тройника к общему отводу водопроводной трубы. Один кран служит для мытья посуды, а на другой надевают конец резинового шланга, с помощью которого наполняют бутылки для отстаивания воды.

2. Комната для исследования физико-механических свойств пород (пористость, проницаемость) площадью около 8 кв. м. В комнате должны быть: большой вытяжной шкаф, сушильный шкаф под тягой, стеллаж с полками, столик для технических весов, письменный стол, водопроводная раковина, дневной и верхний свет, штепсельные розетки, силовая трехфазная линия для вакуум-насоса с электромотором 0,6 квт.

3. Отдельная изолированная комната для люминесцентно-битуминологического анализа и экстрагирования битумов площадью около 10 кв. м. В комнате должны быть приточная и отточная вентиляция, два вытяжных шкафа, сушильный шкаф под тягой, водопроводная раковина с двумя кранами, штепсельные розетки, окна с черными шторами. Один кран служит для мытья посуды, а другой соединяется резиновой трубкой с холодильниками аппаратов Закса.

4. Комната для прочих видов анализов (микроскопия, фотометрия и др.) площадью около 16 кв. м с затемненной перегородкой для фотометра, с письменным и лабораторными столами, с дневным и верхним светом, с штепсельными розетками. Желательно наличие тяги.

#### ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Необходимые оборудование и материалы указаны при описании отдельных видов анализов. Поскольку некоторые приборы могут использоваться параллельно в различных методах анализа (весы, сушильный шкаф и др.), то в целях облегчения работы по составлению заявок ниже приводится общий список оборудования и материалов для литологической лаборатории с учетом выполнения тех видов анализа, которые описаны в настоящем руководстве (за исключением термо-люминесцентного анализа). Общий список реактивов не прилагается, так как его нетрудно составить по тексту настоящего руководства.

---

# 1. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ

Наименование	Марка, ГОСТ	Единица измерения	Количество	Примечание
Вакуумметр стрелочный	В-150	штук	2	
Весы технические лабораторные с разновесами	Т-200	компл.	2	
Весы аналитические с разновесами		»	1	
Вискозиметр универсальный	ВУ	»	1	
Вентилятор с электромотором		»	1	для оборудования вытяжной системы
Интеграционный столик к петрографическому микроскопу	ИСА	»	1	
Люминесцентный минералоскоп ЛЮМ-1 или кварцево-ртутная лампа портативная ЛКП		»	1	
Микроскоп биологический	М-11, МБУ-ШМ-1	»	1	
Микроскоп бинокулярный	БМ-56	»	1	
Микроскоп петрографический поляризационный	любой марки	»	1	
Насос форвакуумный с электромотором 0,6 квт	ВН-461М	»	1	или РВН-20
Осветитель для микроскопа	ОИ-9 м или ОИ-19	»	3	
Печь электрическая на 6 нагревательных элементов	ЭП-4	»	1	можно заменить электроплитками с регулируемым нагревом
Полевая перлово-люминесцентная лаборатория	ППЛ	»	1	

Наименование	Марка, ГОСТ	Единица измерения	Количество	Примечание
Секундомер		штук	1—2	
Фотометр универсальный	ФМ-56	компл.	1	
Шкаф сушильный	Ш-005	»	2—3	
Баня водяная на 8 гнезд		штук	1	
Баня песчаная		»	1	
Зажимы Гофмана		»	20	
Зажимы Мора		»	20	
Набор (колонна) сит почвенных с диаметром обода 20 см	набор		1	
То же, с диаметром обода 10 см		»	2	
Очки защитные		»	1	
Плитка электрическая двух-конфорная с закрытой спиралью и регулировкой нагрева		»	2	
Плитка электрическая одноконфорная		»	несколько	
Пробки резиновые разных размеров (№№ 8—24)		кг		
Светофильтр	УФС-3	штук	2—3	
Сито с диаметром обода 16 см и сеткой с отверстиями 0,1 мм		»	2	
Спиртовка		»	1—2	
Трубка паяльная		»	1—2	
Термометр на 150° С		»	2—3	
Штатив химический с лапками и кольцами		»	8—10	

Продолжение

Наименование	Марка, ГОСТ	Единица измере- ния	Количе- ство	Примечание
Шланг (трубка) рези- новый диаметром 10— 12 мм		м	10—30	
Шланг (трубка) рези- новый вакуумный с на- ружным диаметром 22 мм и более		»	5—10	
Щипцы тигельные		»	2	
Щетка волосаяная		»	1—2	
Кисточки волосаяные разные		»	несколь- ко	
Бакелитовая смола (бакелитовый лак)	БСЛ-1	кг	5	
Бумага фильтроваль- ная				
Бумажные фильтры «синяя лента» диаметром 12,5 см				
Замазка менделеев- ская				
Керосин очищенный				
Масло для вакуумного насоса	ВМ-4			
Смазка вакуумная				

## 2. ХИМИЧЕСКАЯ ПОСУДА

Наименование	Марка, ГОСТ	Размер, емкость	Количе- ство в штуках
Аппарат дистилляционный жа- ропрочного стекла	ТУ № 39-54	—	2
Аппарат Закса (ЛП-4) для экс- трагирования			6
Аппарат Сокслета для экстра- гирования			3
Бутыль стеклянная		20 литров	8—10
Бюкса с притертой крышкой низкой формы	ГОСТ 7148-54	65×30 мм	20
Бюретка с краником		50 мл	10
Воронка делительная цилинд- рическая	ГОСТ 8613-57	1000 мл	4
Воронка капельная шарообраз- ная		50 мл	10
Воронка простая конусообраз- ная		75 мм № 4	50
То же		250 мм № 7	3
Вставка для эксикатора фар- форовая	ГОСТ 9147-59	№ 4 диам. 230 мм	5
Дрекслеля склянка для промы- вания и сушки газов	ОСТ НКТП 4300	500 мл	8
Калиаппарат Гейслера для оп- ределения двуокиси углеро- да с тремя баллонами	ОСТ 10050-39		15
Капельница Строшенна	ОСТ НКТП 4017	25 мл	20
Колба Бунаена коническая с тубусом	ГОСТ 6514-53	500 мл	3
То же		250 мл	10
Колба измерительная с при- тертой пробкой и одной мет- кой	ГОСТ 1770-59	100 мл	20
То же		250	20
То же		1000 мл	2

Наименование	Марка, ГОСТ	Размер, емкость	Количе- ство в штуках
Колба плоскодонная широкогорлая жаропрочного стекла		500 мл	5
Колба Эрленмейера коническая узкогорлая жаропрочного стекла типа «Пирекс»	ГОСТ 6236-58	250 мл	20
Колонка (цилиндр) для сушки воздуха и газов	ОСТ НКТП 4302	250×35 мм	8
Кран соединительный прямой	ГОСТ 7995-56	120—11—6 мм	20
Кран соединительный трехходовой		120—11—4	10
Кран спускной		Диаметр прохода 5 мм	5
Кристаллизатор цилиндрический без носика толстостенный	ГОСТ 7900-56	диам. 310 мм	2—5
Крышка фарфоровая к тигелям		№ 4	30
Набор денсиметров			1
Пипетка химическая без краника		25 мм	10
Пробирка химическая жаропрочного стекла		17×150 мм	30
Пробирка химическая с развернутым краем обычного стекла		17×150 мм	100
Пробирка градуированная с одним внутренним шлифом на НШ-14,5	ГОСТ 8662-58	20 мл	50
Пробка пришлифованная с наружным НШ-14,5			50
Склянка одnogорлая с тубусом у дна	ОСТ НКТП 4298	2000 мл	10
То же		5000 мл	5
То же		10 000 мл	10

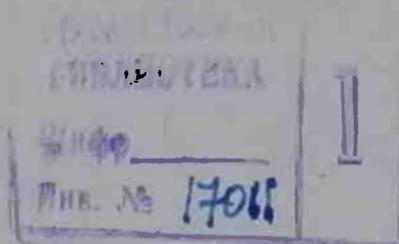
Наименование	Марка, ГОСТ	Размер, емкость	Количе- ство в штуках
Сосуд (цилиндр) вегетацион- ный	ОСТ НКТП 4296		
То же		150×200 мл	20
То же		170×300 мл	30
Стакан химический высокий с носиком жаропрочного стек- ла		100 мл	100
То же		300 мл	50
То же		500 мл	10
Стекля часовые		диам. 60 мм	50
То же		» 80 мм	30
Стекля предметные			20
Ступка фарфоровая с пестом		№ 6 187×87 мм	2
Тигель фарфоровый низкий без крышки		№ 4	20
Тигель фарфоровый		№ 5	20
То же		№ 6	20
Трубка (тройник) соединит. Т- образной формы (Лнбиха)	ОСТ НКТП 4016	длина 50 мм	20
Трубка хлоркальциевая, дуго- образная с отводами и при- тертыми пробками (или без притертых пробок)	ОСТ НКТП 4015	длина 120 мм	30
Холодильник шаровой с 5 ша- рами змеевиковый	ГОСТ 7719-55		10
Цилиндр измерительный с но- сиком	ГОСТ 1770-59	10 мл	10
То же		50 мл	10
То же		250 мл	5
То же		1000 мл	12

Продолжение

Наименование	Марка, ГОСТ	Размер, емкость	Количество в штуках
Чашка фарфоровая выпарительная с носиком		№ 2	30
То же		№ 4	30
Шпатель двойной фарфоровый		№ 1 120 мм	5
То же		№ 3 202 мм	2
Эксикатор без крана	ГОСТ 6371-52	диам. 250 мм	5
То же, с краном в крышке (вакуум. эксикатор)	—	—	2

### 3. ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Платиновая проволочка диаметром 0,3—0,5 мм для перлово-люминесцентного анализа.



## СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение . . . . .	3
Глава I. Наука об осадочных породах — теоретическая основа поисков экзогенных месторождений урана . . . . .	8
Глава II. О классификации экзогенных месторождений урана и условиях их образования . . . . .	13
Литература . . . . .	33
Глава III. Основные направления в изучении экзогенных месторождений урана . . . . .	36
Литологические исследования . . . . .	36
Минералогические исследования . . . . .	57
Радиогидрогеологические и гидрогеохимические исследования . . . . .	59
Литература . . . . .	76
Глава IV. Лабораторные методы исследования урановых руд и вмещающих пород . . . . .	78
Выбор комплекса лабораторных исследований . . . . .	78
Микрохимические реакции на уран и элементы-спутники . . . . .	85
Определение органического углерода в осадочных породах . . . . .	89
Определение CO <sub>2</sub> в карбонатах . . . . .	93
Экстрагирование нефти и битумов из образцов . . . . .	95
Определение восстановительной емкости осадочных пород . . . . .	96
Методы определения рН и Eh . . . . .	101
Электролиз . . . . .	103
Люминесцентный и перлово-люминесцентный анализы на уран . . . . .	104
Гермолюминесцентный анализ . . . . .	109
Изучение цвета осадочных пород . . . . .	113
Гранулометрический анализ . . . . .	130
Определение открытой пористости и структуры порового пространства пород . . . . .	147
Список литературы по некоторым аналитическим методам, не рассмотренным в данном руководстве . . . . .	161
Глава V. Организация литологической лаборатории . . . . .	164

Цена 2 руб. 10 коп.