

Радиоактивные элементы

6.5. Радиоактивные металлы

В группу радиоактивных элементов, имеющих промышленное значение, входят уран, торий, радий. Рассмотрим геолого-промышленные типы месторождений урана и тория.

уранинит UO_2

браннерит
 $(\text{U}^{4+}, \text{Ca}, \text{Th}, \text{Y})(\text{Ti}, \text{Fe})_2\text{O}_6$

Кристалл **Давидита**, 1см. Бектау-Ата,
Прибалхашье. Фото/коллекция В.Слётв.

$(\text{Ca}, \text{TR})(\text{U}, \text{Y}, \text{TR})(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Ti}_{18}\text{O}_{38}$

уранофан
 $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 (\text{Si}_2\text{O}_7) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Отенит (отунит) (от назв. места первого обнаружения – Отён, Франция *).



Торбернит $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Карнотит





Рис. 6.72. Основные районы распространения урановых месторождений (по В. Е. Бойцову, 2005):

Урановые месторождения весьма разнообразны по условиям залегания, обстановкам локализации руд, генезису. Промышленные типы урановых месторождений могут быть разделены на три серии: эндогенную (альбититовые, плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные); экзогенную (осадочные, инфильтрационные); метаморфогенную (метаморфизованные месторождения различного типа). Эта типизация не является общепризнанной: почти все типы урановых месторождений - объекты оживленных дискуссий. Более всего споров существует вокруг генезиса месторождений, источников урана, роли процессов преобразования и т.д.

Некоторые месторождения и их типы можно отнести к полигенным образованиям. Наибольшее значение в экономике имеют месторождения четырех геолого-промышленных типов: 1) тип «несогласия» дает более 40% добычи; 2) «песчаниковый» тип - 24,5 %; 3) медно-золотой и золотой с попутной добычей урана - 13,6%; 4) жильно-штокверковый тип - 10,8%.

На Мичуринском месторождении ураноносные натровые метасоматиты развиваются за счет гнейсов, гранитов, мигматитов, милонитов и катаюшзитов. Пространственное размещение ураноносных альбититов определяется морфологией гранитных тел в комбинации с пегматитовыми жилами и зонами милонитов и катаклазитов. Главная масса натровых метасоматитов и соответственно уранового оруденения приурочена к блоку гнейсов, насыщенному маломощными гранитными жилами и ограниченному сверху и снизу более крупными залежами гранитов.

На месторождении выделяются два основных типа рудных тел: а) приуроченные к послойным телам альбитизированных гранитов и пегматитов, залегающих среди гнейсов; б) размещающиеся среди крупных тел гидротермально измененных гранитов.

Натровые метасоматиты, как правило, наследуют текстурно-структурные особенности исходных пород и подразделяются на два основных типа: 1) эгирин-рибекитовый; 2) эпидот-хлоритовый.

Рудные минералы равномерно распределены в альбититах. В составе руд присутствуют уранотитанаты, настуран, уранинит, коффинит, уранофан и др.

По В. И. Казанскому и Н. П.Лаверову, ураноносные натровые метасоматиты и вмещающие их гнейсы, порфировидные калиевые и среднезернистые граниты имеют близкий возраст - около 1,8-2 млрд лет. Ураноносные альбититы возникли в обстановке небольших глубин после зеленокаменного изменения ультраметаморфогенных пород и принадлежат к числу среднетемпературных гидротермальных образований.

Месторождения Криворожского района относятся к железоурановому типу, связанному с натровыми и карбонатными метасоматитами.

По В. И. Казанскому и Н. П.Лаверову, железорудная формация, вмещающая урановые руды, подразделяется на три свиты.

Нижняя сланцево-кварцитовая свита представлена слюдяными кварцитами, метааркозами и метаконгломератами, слюдяными, биотит-полевошпатовыми сланцами и амфибол-биотитовыми лептитам. С ней связаны урановые рудопроявления, отождествляемые с ураноносными конгломератами.

Средняя таконитовая свита образована выдержанными по простираению горизонтами куммингтонитовых, куммингтонит-биотитовых и биотитовых сланцев, магнетитовых, магнетит-гематитовых и гематитовых джеспилитов. Комплексные железоурановые руды залегают среди богатых гематит-магнетитовых железных руд. Верхняя доломит-лептитовая свита сложена лептитам, микросланцами, графитовыми сланцами с прослоями доломитовых мраморов, доломитсодержащих и диопсидовых кварцитов. Урановые руды в верхней свите приурочены к лептитам и доломитам.

Железистые кварциты, вмещающие урановое оруденение, интенсивно дислоцированы, при этом складчатые структуры играют ведущую роль в локализации урановых месторождений, среди которых выделяют три типа: месторождения в замковых частях изоклинальных складок; месторождения в участках флексурных перегибов на крыльях складок; месторождения в зонах продольных послойных и секущих разломов на участках моноклинального залегания железистых кварцитов.

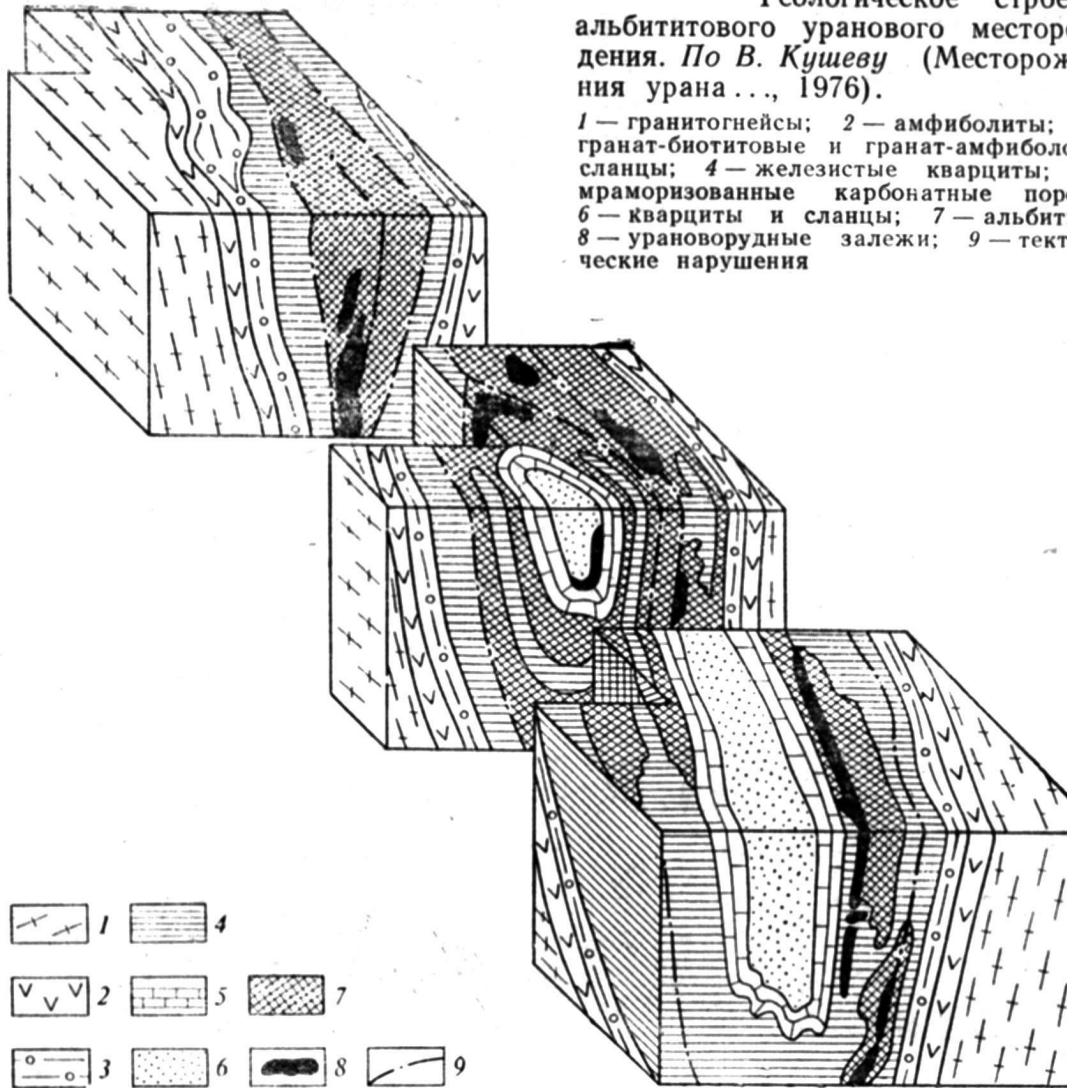
Для урановых месторождений в железистых кварцитах характерно интенсивное проявление метасоматических процессов, протекавших в четыре стадии: 1) железорудная - формирование богатых железорудных тел; 2) щелочно-силикатная - формирование альбититов и других натровых метасоматитов; 3) карбонатная - образование железокарбонатных метасоматитов; 4) кварцевая - образование вторичных кварцитов, не содержащих урановой минерализации.

В рудных телах выделяются четыре урановые минеральные ассоциации: апатит-малаконовая, уранинит-ненадкевитовая, уранинитовая и настурановая. Апатит-малаконовая ассоциация распространена среди щелочных метасоматитов и тяготеющих к контакту с ними карбонатных метасоматитов. Уранинит-ненадкевитовая минерализация распространена в зонах щелочного метасоматоза среди альбититов, реже эгиринитов и альбитизированных сланцев. Уранинитовая минеральная ассоциация характерна для карбонатных метасоматитов, расположенных среди богатых железом пород. Настурановая минеральная ассоциация имеет подчиненное значение.

К этой группе В.И. Смирнов отнес и крупное месторождение Россинг в Намибии, связанное с калишпатовыми метасоматитами. Вмещающие руду пегматоидные граниты, именуемые аляскитами, возникли в результате анатексиса кварц-полевошпатовых отложений. Источником урана в них послужили подвергшиеся замещению ураноносные аркозовые песчаники.

Геологическое строение альбититового уранового месторождения. По В. Кушеву (Месторождения урана..., 1976).

1 — гранитогнейсы; 2 — амфиболиты; 3 — гранат-биотитовые и гранат-амфиболовые сланцы; 4 — железистые кварциты; 5 — мраморизованные карбонатные породы; 6 — кварциты и сланцы; 7 — альбититы; 8 — урановорудные залежи; 9 — тектонические нарушения



Альбититовые месторождения известны среди древних метаморфических комплексов, где приурочены к зонам щелочного метасоматоза. К ним относятся месторождения двух смежных районов Украинского кристаллического щита: Кировоградского (Северинское, Мичуринское) и Криворожского (Желтоводское и Первомайское). Месторождения связаны с процессами раннепротерозойской протоактивизации. Месторождения Кировоградского района - собственно урановые альбититовые, приурочены к крупной меридиональной тектонической зоне, разделяющей поле развития протерозойских гранитов и площадь распространения архейских гнейсов. В зоне развиты калиевые граниты, пегматитовые жилы, зоны катаклаза и милонитизации, в которых и залегают ураноносные альбититы. Наиболее крупные тела ураноносных натровых метасоматитов локализуются в изгибах милонитовых зон, в местах сочленения с ними разрывных нарушений северо-западного простирания, но особенно в тектонических блоках, в которых гнейсы, граниты и пегматиты многократно чередуются. Граниты в большинстве случаев образуют согласные тела. Размеры тел и степень насыщенности ими гнейсов изменяются в широких пределах. В некоторых случаях наблюдается многократное чередование относительно маломощных (1 - 30 м) гранитных тел и гнейсов, причем на долю гнейсов приходится около половины объема.

Плутоногенные гидротермальные месторождения представлены многочисленными жильными образованиями, связанными с гипабиссальными гранитоидами. Они формировались во все эпохи начиная с протерозоя. Среди разнообразных объектов этого типа наиболее известны упомянутые ранее (см. подразд. 4.2) месторождения пятиэлементной формации (Яхимовское), серебряно-полиметаллической формации (Пршибрам). В настоящее время промышленное значение этого типа невелико.

Вулканогенные гидротермальные месторождения, связанные с комплексами вулканических пород кислого состава, разнообразны по структурной приуроченности, составу руд, характеру изменения вмещающих пород. В эту группу объединяются урановые месторождения, связанные с дайковыми поясами, субвулканическими телами, экструзивными образованиями. Общей их чертой является формирование в результате поствулканической деятельности.

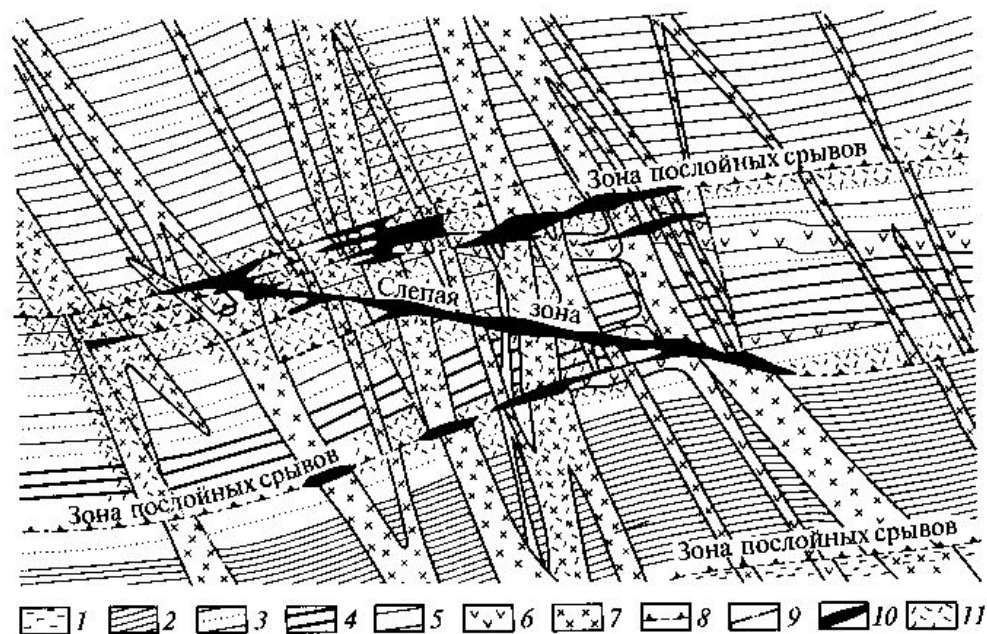


Рис. 6.73. Морфология и структура рудных тел Ишимского месторождения (по В. И. Казанскому, Н. П. Лаверу, 1974):

1 — песчаники среднезернистые, толстослоистые; 2 — переслаивание разномзернистых песчаников и алевролитов; 3 — песчаники среднезернистые с прослоями алевролитов; 4 — тонкое переслаивание мелкозернистых песчаников и алевролитов; 5 — аргиллиты и алевролиты; 6 — дайки диоритов; 7 — спессартиты; 8 — разрывные послойные нарушения; 9 — разрывные ссучные нарушения; 10 — рудные тела; 11 — березитизированные породы

Ишимское месторождение (Северный Казахстан), по данным В.И.Казанского, Н.П.Лаверова, Р.Г.Язикова и других геологов, располагается на склонах крупного разрушенного эрозией палеовулкана в дайковом поясе. Кроме даек здесь установлены сложные тела андезитов, дацитов и трахидацитов, эруптивных брекчий этих пород и небольшие массивы гипабиссальных сиенит-диоритов и диоритов. Ведущая роль принадлежит дайкам диоритового состава.

На месторождении выделяются три системы разрывов: крутопадающие продольные, согласные по ориентировке с поясом даек; крутопадающие, поперечные по отношению к нему; пологопадающие межформационные разрывы. Амплитуды перемещения по разрывам, как правило, незначительны. В пределах месторождения выявлено 15 рудных тел. Основные рудные тела располагаются в послойных разрывах, на участках, где они пересекают серии сближенных крутопадающих даек (рис. 73). Структура послойных разрывов зависит от вмещающих пород. В толще осадочных отложений они представлены компактными тектоническими швами. На участках, где эти разрывы пересекают крутопадающие дайки, возникают сложные системы трещин, сопровождаемые брекчиями. Мощность нарушенных пород в таких участках увеличивается в несколько раз, здесь же располагаются и промышленные урановые руды.

По форме рудные тела напоминают пластовые залежи. Они имеют пологое падение, незначительную мощность и, как правило, вытянуты в виде лент вдоль поверхностей послойных разрывов. Ширина рудных залежей определяется мощностью даек. Средняя мощность рудных тел 1 - 6 м. Размеры по падению и простиранию соответственно 20 - 1 100 и 10-750 м. Глубина залегания кровли рудных тел 0 - 200 м.

Рудные тела сопровождаются ореолами березитизации мощностью в десятки метров.

Руды комплексные молибден-урановые, среднее содержание урана 0,204%, молибдена - 0,066%, присутствуют таллий - до 0,008% цирконий - до 0,02%, стронций, мышьяк, титан. Текстуры руд: тонковкрапленная, прожилковая, брекчиевая. Руды сложены настураном, коффинитом, уранофаном, молибденитом, которым сопутствуют сульфиды железа, меди, цинка, прожилки апатита. Месторождение среднее по запасам.

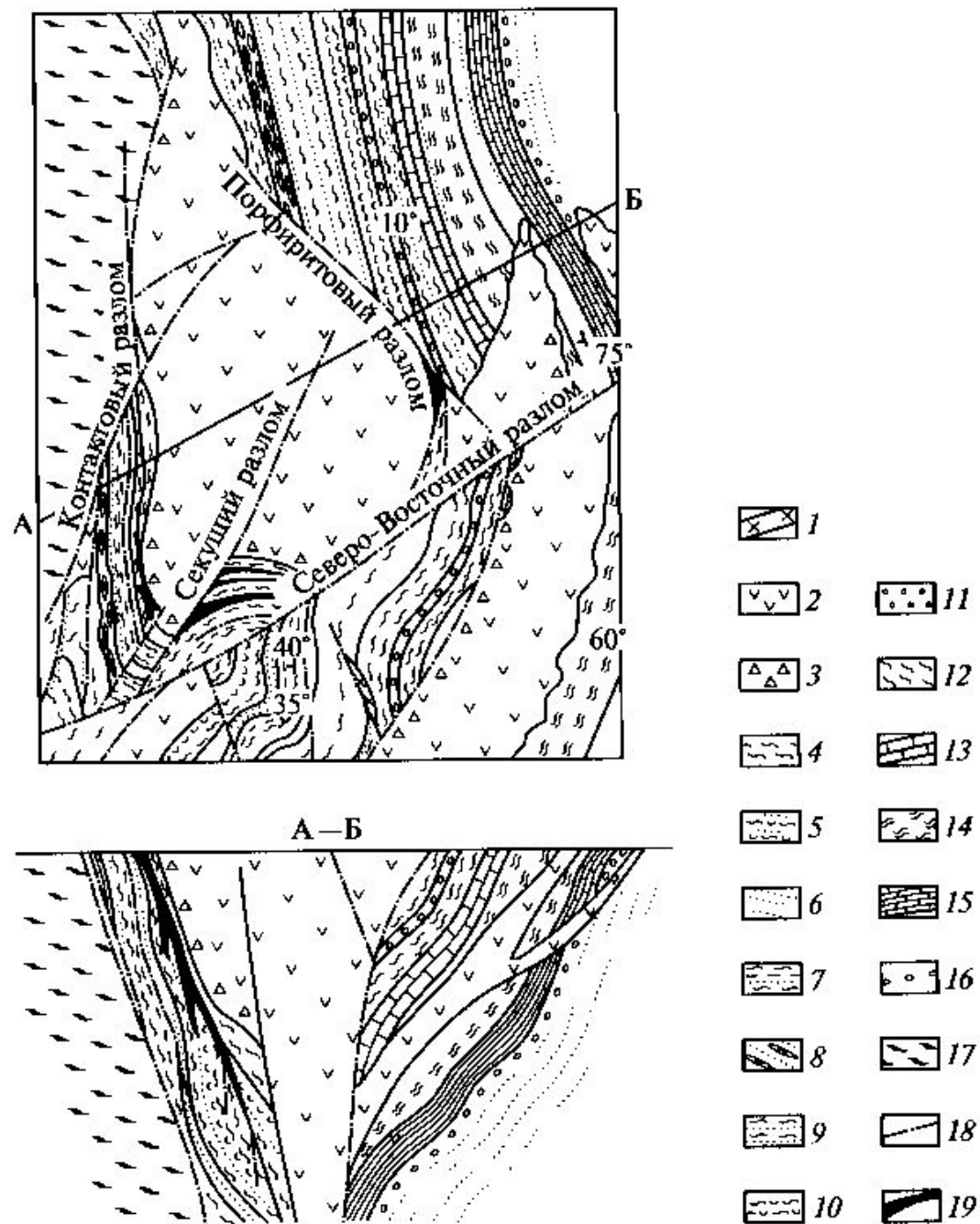


Рис. 6.74. Схема геологического строения молибден-уранового месторождения (по А. И. Зачернюку и др., 1970):

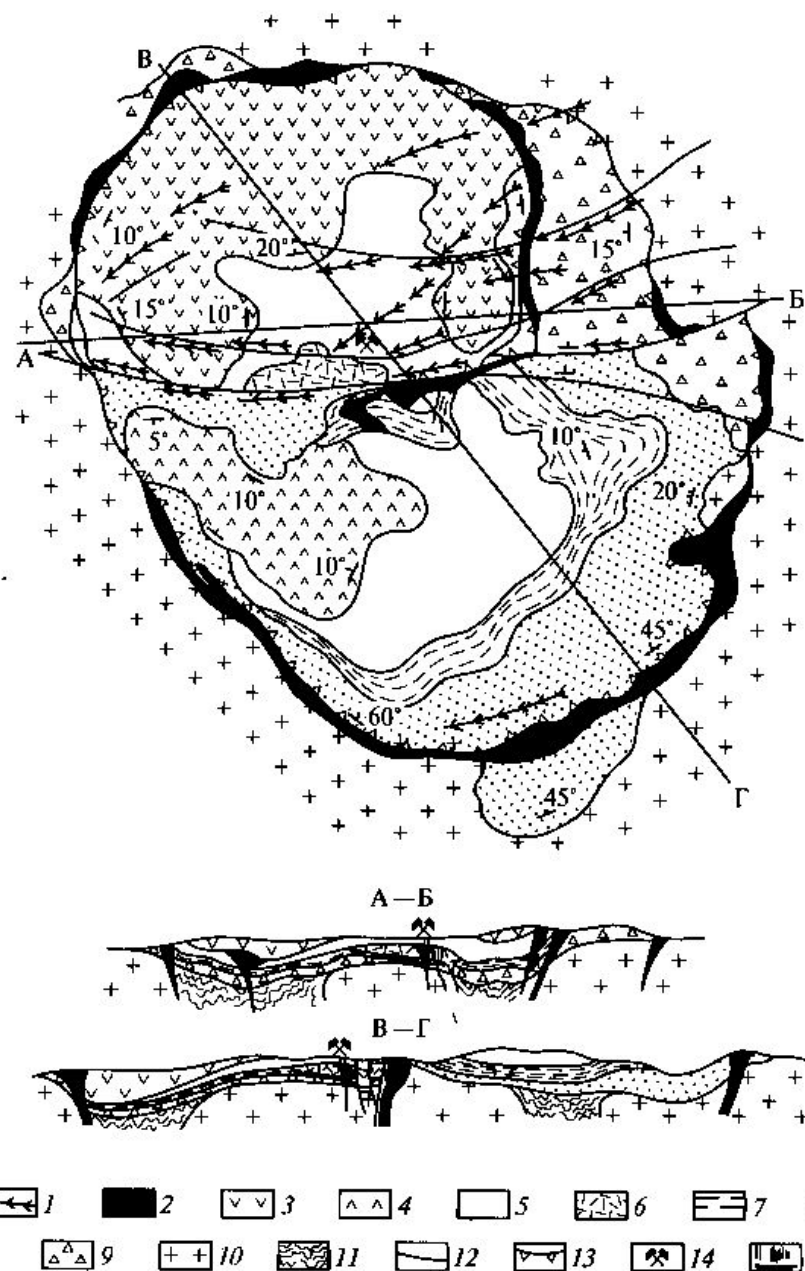


Рис. 6.75. Геологическое строение вулканической депрессии и положение уранового месторождения (по В. И. Казанскому, Н. П. Лаврову, 1974):

Осадочные месторождения урана весьма разнообразны. Поведение урана в осадочном процессе определяется окислительно-восстановительной обстановкой. Подвижные соединения урана могут восстанавливаться, сорбироваться и таким образом накапливаться на участках осадкообразования. Основными восстановителями и сорбентами являются: карбонаты, фосфаты, цеолиты, твердые битумы, углистое вещество растительные остатки, оксиды железа. Накопленное таким образом рудное вещество претерпевает преобразования и перегруппировку в стадию диагенеза; возникают осадочно-диагенетические месторождения. Среди них выделяют морские и континентальные. Первые представлены осадочными месторождениями в карбонатных породах, углисто-кремнистых сланцах, фосфатных образованиях. В континентальных условиях образуются месторождения в торфяниках, лигнитах, бурых углях, в конгломератах и песчаниках. За редким исключением осадочные месторождения отличаются крупными ресурсами, но убогим содержанием и не представляют интереса для промышленности. Промышленные месторождения на базе первично осадочных скоплений могут возникнуть в процессе последующих преобразований - метаморфических, инфильтрационных процессов и т.д. Но в этих случаях они относятся к иным генетическим типам.

Одним из редких примеров осадочных промышленных месторождений являются залежи фосфатизированных костных остатков рыб в верхнеолигоценовых глинах Мангышлака.

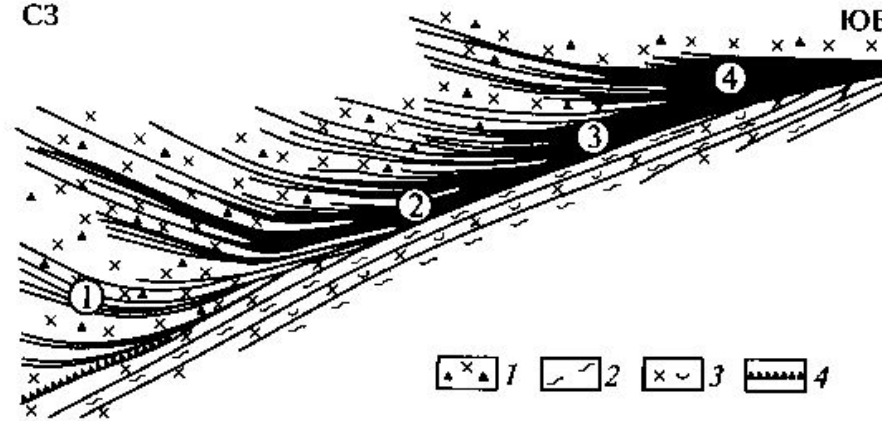


Рис. 6.76. Продольный разрез рудной залежи месторождения Меловое (по А. А. Шаркову, 2005):

1—3 — глины (1 — темные обогащенные остатками рыб и тонкодисперсным пиритом, 2 — светлые (белесые) с ходами илоедов, 3 — темные с редкими рассеянными остатками рыб); 4 — сульфидный прослой; 1—4 — рудные пласты (цифры в кружках)

Месторождение Меловое находится на территории Южного Мангышлака. Это уникальный тип осадочных месторождений, не известный в других районах мира. Месторождение представляет собой огромное скопление костного детрита рыб, которое является необычным органогенно-фосфатным (сульфидно-фосфорно-ураново-редкометалльным) месторождением.

Меловое является наиболее крупным из серии подобных объектов, расположенных в пределах Карагинского рудного поля (входящего в состав Прикаспийской ураново-редкометалльной провинции). По данным детальных исследований А. А. Шаркова, месторождение характеризуется следующими особенностями. Рудные тела залегают в верхнеолигоценовых отложениях и приурочены к мульдобразным прогибам или промоинам. Рудовмещающие породы («рыбная пачка»), заключающие в себе все известные на Южном Мангышлаке органогенно-фосфатные месторождения, сложены темными микроштриховатыми глинами, обогащенными остатками рыб (0,5-1,0 см), бурыми чешуйками органического вещества и тонкодисперсным пиритом. Рудная залежь ураноносного костного детрита рыб протягивается на 16-18 км, ширина ее изменяется от 1,5-2 до 6-7 км. Тело залегают почти горизонтально, с пологим падением на северо-запад. Компактная часть залежи (0,5 - 0,7 м) выходит на дневную поверхность, а на глубине расслаивается по типу «конского хвоста», достигая мощности 8-10 м, и погружается на глубину до 180-200 м (рис. 76).

В рудной залежи выделено четыре пласта, различающихся составом, распределением костного детрита, содержанием полезных компонентов. В общем рудные пласты и прослои представлены микро- или тонкослоистой глинистой породой почти черного цвета, насыщенной мелко раздробленными косточками и чешуйками рыб (до 20 - 30%) и тонкодисперсным «сажистым» пиритом (до 35 - 40 %). В некоторых пластах присутствуют очень крупные кости (до 10 - 12 см) и позвонки (до 15-25 см) китообразных млекопитающих, многочисленные зубы акул (1-5 см), обломки обугленной древесины (20-30 см), слуховые кости китов (до 5 см), стяжения и окатанные гальки фосфоритов (до 2 см), кварца (0,5-1,0 см) и редкие кости птиц (до 5 см). Подобный материал часто пропитан баритом и целестином.

В юго-восточной части месторождения обнаружены целые скелеты древних китов размером до 3 - 4 м и сплюснутые стволы деревьев - до 6 - 8 м.

Основной особенностью строения рудной залежи является ритмичное накопление ураноносного костного детрита. Содержание урана в рудных залежах колеблется от 0,03 до 0,2 %; максимальное обогащение ураном свойственно тонко измельченному костному детриту.

Рудная залежь формировалась в шельфовой зоне, рельеф области осадконакопления был осложнен обширной отмелью. Ежегодное естественное отмирание и периодическая массовая гибель рыб обусловили накопление огромного количества отмершей ихтиофауны. Периодическое воздымание отмели на фоне общего погружения бассейна обусловило многократный переувлажнение органогенного материала.

По мнению М.Н.Альтгаузена, это собственно седиментационные месторождения с концентрацией урана на стадии раннего диагенеза.

В.И. Казанский, Н.П.Лаверов констатируют, что в локализации рудных залежей намечаются следующие закономерности: ОНИ развиваются близ зон конседиментационных положительных платформенных структур, точнее на их пологих склонах; эти поднятия в период накопления ураноносного костного детритуса имели куполообразную или вытянутую форму и представляли собой пологие острова или подводные мели; участки самих залежей возможно представляли собой пологие депрессии на склонах положительных структур; компактные части залежей расположены ближе к апикальным частям поднятий, где общая мощность рудовмещающей толщи относительно меньше, чем в удалении от поднятий; многие считают, что в процессе формирования залежей существенное значение имели более или менее постоянно ориентированные течения, о чем свидетельствуют внутриформационные размывы, почти полное отсутствие целых скелетов рыб и сортировка костного материала по гранулометрическому составу.

Основным носителем урана являются обломки скелетов, плавников и чешуи рыб, состоящие из карбонат-фторапатита. Структурные поры костей заполнены органическим веществом с повышенным содержанием урана, а также карбонатами, сульфидами, гидрослюдами и реже целестином. Наряду с ураном в костном веществе отмечены высокие содержания скандия, иттрия, иттербия, церия и других редких земель. Незначительная часть урана связана с обуглившимися растительными остатками. В скоплениях пирит-мельниковита иногда наблюдаются мельчайшие выделения свободных оксидов урана.

Источником урана и редких земель считаются вулканические очаги, которые вероятно функционировали в соседних районах.

Запасы месторождения оценивались в 44 тыс. т, количество костного детрита составляло несколько десятков миллионов тонн.

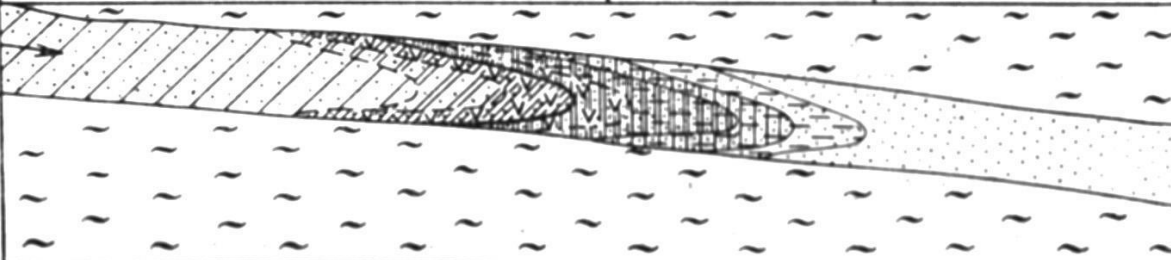
Среди *инфильтрационных месторождений урана*, по В.И.Смирнову, различаются фанерозойские и протерозойские образования.

Фанерозойские инфильтрационные месторождения, известные под названием «песчаниковые», возникают в результате пластовой инфильтрации вадозных вод. Все эти месторождения располагаются в районах пустынного и пустынно-степного климата. Пластовое окисление развивается в сероцветных породах в тех случаях, когда по ним движутся напорные воды, содержащие кислород. В плане и разрезе окисленные породы имеют форму языков, вытянутых по направлению движения пластовых вод. Процесс развивается на значительную глубину и приводит к осаждению урана в области выклинивания зон пластового окисления.

В строении инфильтрационных месторождений выделяют три зоны: а) тыловая зона окисления и выщелачивания; б) центральная зона вторичного рудоотложения; в) передовая зона неизмененных пород.

Зона окисления характеризуется повышенным содержанием кислорода, что определяет переход урана, содержащегося в породах в повышенных или даже фоновых количествах, в подвижную форму и миграцию его в водном растворе. Зона вторичного рудоотложения - восстановительный геохимический барьер, на котором осаждаются уран и сопутствующие ему селен, молибден и другие элементы. Зона первичных пород сохраняет исходный минеральный состав.

Процессы пластового окисления происходят под воздействием напорных вод артезианских бассейнов, поэтому они проникают до глубины 400-600 м. Рудные тела имеют причудливую серповидную форму роллов, обусловленную неравномерным течением пластовых вод. Тела размером в поперечном сечении в десятки метров протягиваются в виде полос, фиксирующих фронт пластового окисления, на десятки километров. В состав руд входят урановая чернь, коффинит, селенистые сульфиды железа, самородный селен, минералы ванадия, никеля, кобальта и др.

Ен	+0,3	+0,05	-0,1	-0,2
Рудоконтролирующая зональность	Зона окисления		Зона восстановления	
	Fe		Se U Fe	Mo
Рудовмещающая толща				
Водоупорные горизонты				
Схематическая эпигенетическая зональность	Полного	Неполного	Частичного	Ураноаккумуляция Мо
	Зона пластового окисления		Зона восстановления	Рудного тела Ореол рассеяния Минерализация
	Неизменные породы			

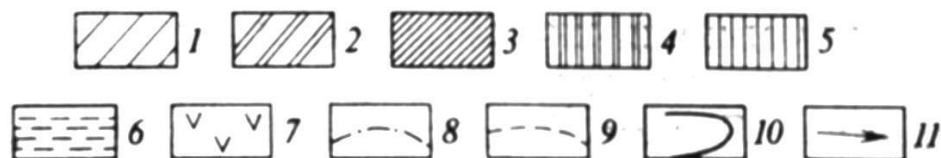
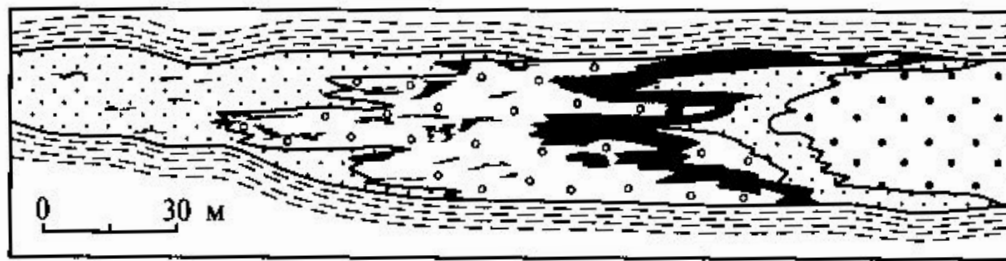


Схема рудоконтролирующей зональности инфильтрационных месторождений урана. По В. Данчеву (1977).

1-6 — подзоны: 1 — полного окисления, 2 — неполного окисления, 3 — частичного окисления, 4 — рудного тела, 5 — уранового ореола, 6 — молибденовой минерализации; 7 — селеновая минерализация; 8 — граница селеновой минерализации; 9 — граница подзоны пластового окисления; 10 — выклинивание зоны пластового окисления; 11 — направление движения пластовых вод

Месторождения «песчаникового» типа широко распространены в ураново-рудной провинции Вайоминг (США). Многочисленные урановые месторождения пластово-инфильтрационного типа локализованы в меловых и палеоген-неогеновых песчано-глинистых отложениях, толщи которых залегают почти горизонтально. Это одни из наиболее крупных по запасам и добыче месторождений. В составе руд преобладают настуран и коффинит. Среднее содержание урана 0,03-0,15% (эти руды разрабатываются методами подземного выщелачивания). Более богатые руды с содержанием 0,2 - 0,3% добываются горным способом. Глубина залегания рудных тел от нескольких метров до 300 м. Крупнейшие месторождения: провинции Шерли-Бейсин, Гэз-Хилс, Саут-Хилс, Норт-Хилс, месторождения бассейна Паудер-Ривер, Хайленд и др. К этому типу относятся среднеазиатские месторождения Кызылкумского района, месторождения Чу-Сарысуйской провинции Казахстана и др.



a

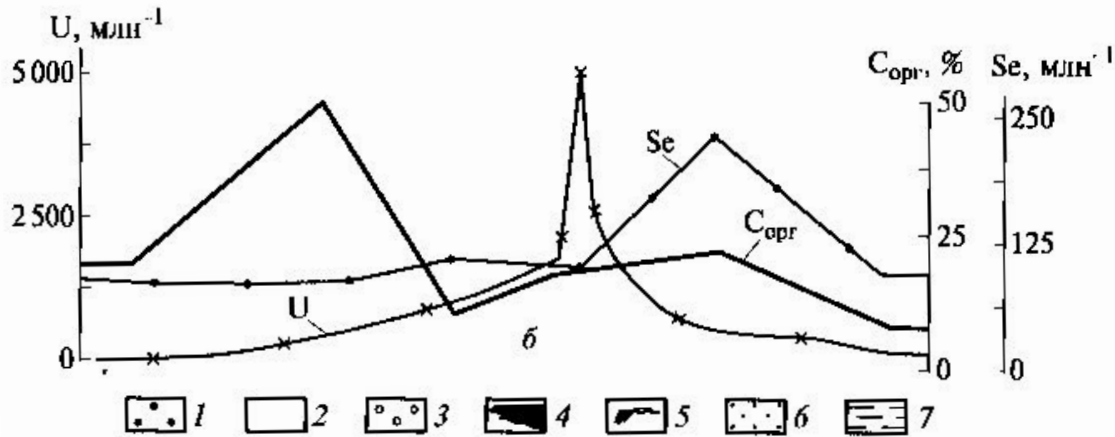


Рис. 6.77. Поперечный разрез неокисленного рудного тела района Хайленд (а) и распределение содержаний урана и сопутствующих элементов (б) (по Д.Дэвису):

зоны: 1 — гематитовая; 2 — лимонитовая; 3 — «белесая»; 4 — рудная залежь; 5 — ореол убогих руд; 6 — неизмененные песчаники; 7 — алевриты

Месторождения района Хайленд приурочены к озерно-аллювиальным отложениям палеоцена и раннего эоцена, мощность которых достигает 1 500 м. Вмещающая толща сложена серыми и бурыми песками, алевритами и глинистыми, иногда слабосцементированными. Присутствуют тонкие слои углистых глин и маломощные прослои углей.

Рудные тела месторождений локализованы в «песчаниках Хайленд» — сравнительно выдержанном горизонте слабо литифицированных аллювиальных песков с органическим материалом и туфогенными компонентами мощностью до 50 м. Рудовмещающий пласт подстилается и перекрывается водонепроницаемыми алевритами. Оруденение установлено на разных стратиграфических уровнях. Очень часто между неизмененными породами и рудами располагается зона «белесых пород», а в тылу ролла отмечаются лимонитовая и гематитовая зоны (рис. 77).

Мощности рудных тел в мешковых частях роллов колеблются от 0,5 до 5,0 м. Общая протяженность их достигает 1 000 м. Содержания урана, так же как и на других месторождениях Вайоминга, составляют 0,1 - 0,15 %. Характерная особенность первичного оруденения в песчаниках Хайленд — наличие убогих (с содержанием 0,04 - 0,08% U) руд, ареал распространения которых во фронтальной части роллов составляет несколько сотен метров. Урановые минералы представлены в основном коффинитом и тонкодисперсными оксидами урана, образующими очень тонкие и сложные срастания. Распределение сопутствующих урану элементов в рудных телах аналогично распределению на других месторождениях этого типа (см. рис. 77). В рудной зоне наблюдается обильный пирит, повышенные (до 0,02 %) содержания селена вдоль вогнутых границ роллов и высокие содержания сульфатной серы. Содержания ванадия не превышают 0,011 %.



Рис. 6.78. План-карта месторождения Мынкудук (по В. Г. Язикову, 2002):
1 — горизонт Жалпакский; 2 — горизонт Инкудукский; 3 — горизонт Мын-
кудукский

Месторождение Мынкудук находится в пределах Чу-Сарысуьской ураново-рудной провинции Казахстана, в западной части структурного плато Бетпак-Дала. По материалам Н.Н.Петрова, В. Г.Язикова и других авторов (1995), рудные тела локализованы в отложениях позднего мела, которые подразделены на три рудоносных горизонта. Главный рудовмещающий горизонт на месторождении (Мынкудукский) сформировался в пределах аллювиальной системы и характеризуется ритмичным строением. Мощность горизонта меняется от 30 - 40 до 60 - 70 м. Второй горизонт также имеет ритмичное строение и отличается более грубообломочным составом отложений. Его мощность от 50-60 до 100 м. В третьем горизонте резко преобладают песчаные аллювиальные образования мощностью 50-70 м. Мынкудук расположен в Сарысуьской моноклизе, осложненной системой локальных пологих поднятий типа брахиантиклиналей и «структурных носов».

Региональная позиция месторождения определяется положением его на высоком крыле артезианского бассейна. Направление потоков подземных вод верхнемелового комплекса в целом близширотное.

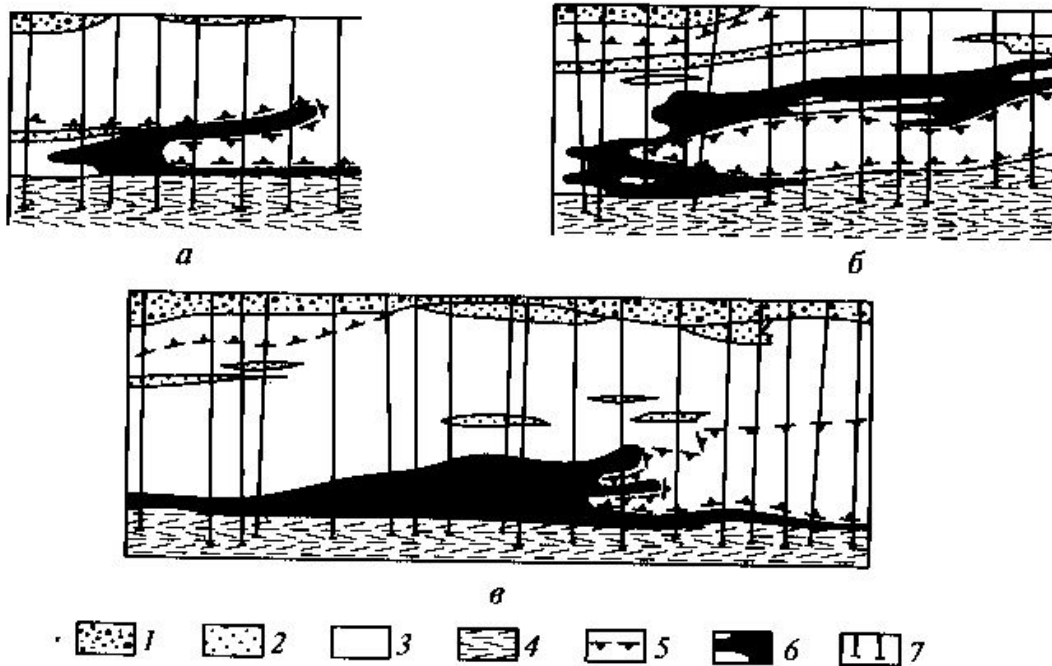


Рис. 6.79. Поперечные сечения роллов месторождения Мынкудук
(по В.Г. Язикову, 2002):

а, б, в — различные типы сечений; 1 — аллювий; 2 — песок; 3 — глины; 4 — фундамент палеозойской эры; 5 — фронт окисленных пород; 6 — ураноносные образования; 7 — скважины

Месторождение Мынкудук, приуроченное к близширотной части системы рудоносных фронтов зоны пластового окисления (ЗПО), в целом характеризуется простой морфологией рудных залежей в плане, выдержанностью их контуров по простиранию (рис. 78).

В поперечных разрезах рудные залежи, как правило, состоят из нескольких морфологических элементов (рис. 79): главного роллового тела и сателлитных тел, зачастую отторгнутых в процессе развития окисления элементов главного тела - останцов верхнего или нижнего крыла или соседнего (по вертикали) ролла. Такие рудные тела располагаются обычно в тылу ролловых тел, отделяясь от них интервалами безрудных пород. Кроме того, в виде отдельных морфоэлементов залежей обособляется оруденение, связанное с фильтрационными «окнами» и «каналами». Ролловые тела весьма разнообразны.

Всего на месторождении выявлено около 30 рудных залежей в трех горизонтах. Протяженность залежей достигает 15-20 км, ширина варьирует от 50 до 400-500 м, а в отдельных раздувах достигает 1,7 км. Мощность 2-10 м в крыльях, 20-25 м (местами более) в мешковых частях роллов.

Содержание урана от 0,015-0,02 до 0,1-0,15%, по ряду пересечений - 0,3-0,4%, а по отдельным пробам - целые проценты.

Глубина залегания подошвы рудных залежей изменяется от 175 до 430 м.

Внутреннее строение рудных залежей и характер распределения в них урана и сопутствующих элементов определяются особенностями рудоконтролирующей окислительной зональности в области выклинивания ЗПО (на геохимическом восстановительном барьере).

По минеральному составу руды месторождения Мынкудук коффинит-настурановые: настуран в среднем составляет 66%, коффинит - 34%, причем роль последнего возрастает вверх по разрезу: в мынкудукском горизонте руды существенно настурановые (настуран 76 %), в верхнем - преимущественно коффинитовые (коффинит 65 %).

Руды месторождения силикатные, бескарбонатные (содержание CO_2 - десятые доли процента), редко слабокарбонатные (CO_2 от 2 до 4 %). По содержанию урана они относятся преимущественно к бедным и убогим (0,02-0,1 %), реже к рядовым (0,1-0,3 %), однако при этом рудные залежи благодаря их значительной мощности, как правило, высокопродуктивны.

Руды в основном монометалльные, но ряд рудных залежей может считаться комплексным - рений-урановым.

Инфильтрационные месторождения в отложениях палеодолин являются своеобразной разновидностью «песчаниковых» месторождений. Месторождения этого типа широко развиты по периферии Западно-Сибирской низменности и приурочены к мезозойским речным палеодолинам. Палеодолины обычно имеют крутые борта, выровненное днище; они выполнены сложным чередованием проницаемых гравелито-песчаниковых и водоупорных глинисто-алевролитовых горизонтов. Эти рудоносные комплексы обычно перекрыты более молодыми отложениями. Рудная минерализация концентрируется в различных породах - глинах, алевролитах, песчаниках, гравелитах и конгломератах. При этом в проницаемых породах сосредоточено около 70 % рудной минерализации. Рудные тела представляют собой лентообразные залежи протяженностью в несколько километров, шириной 50 - 300 м. Мощность до 10 м. Месторождения имеют инфильтрационную природу, о чем свидетельствуют, в частности, ролловые формы рудных тел. Вероятнее всего урансодержащие кислородные воды поступали с бортов палеодолин, и уран осаждался на контрастных геохимических барьерах.

Иногда рудоносными являются боковые притоки магистральных палеодолин. Подобные месторождения известны также на Украинском кристаллическом щите (Кировоградский и Криворожский районы), в Кокчетавском районе Казахстана, в Витимском районе. Последние приурочены к верховьям палеодолин, «врезанных» в палеозойские граниты, и локализованы в мезозойских, преимущественно сероцветных отложениях. Нередко рудоносные палеодолины бывают перекрыты покровами базальтов (Щегловское месторождение).

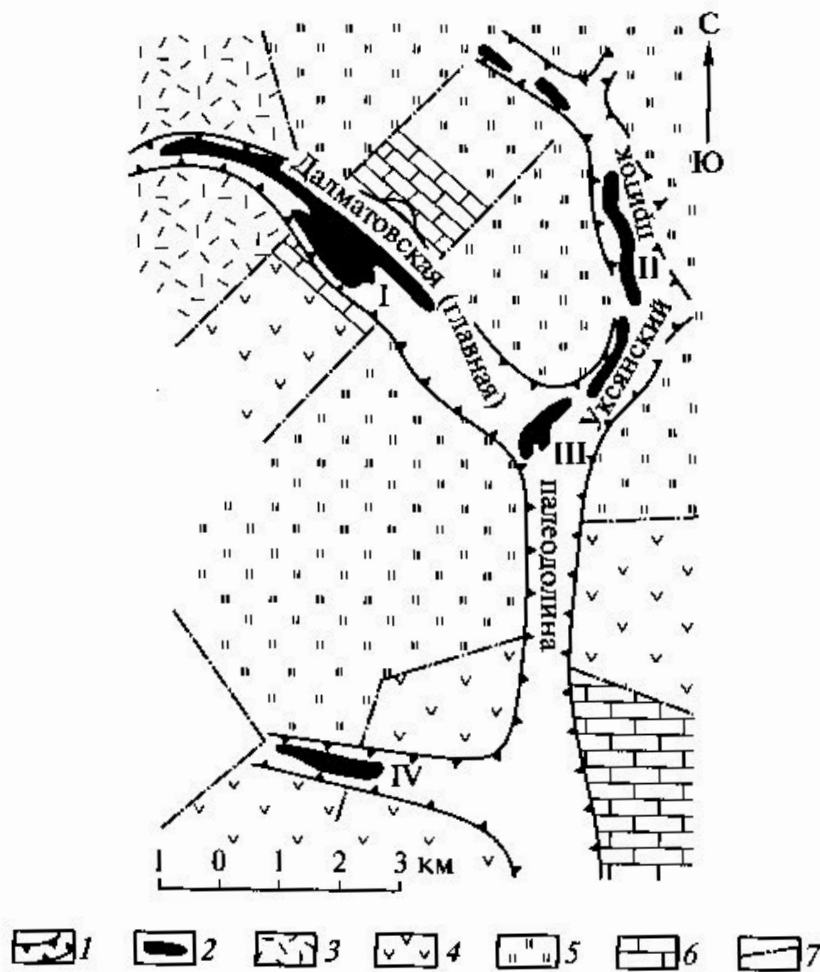


Рис. 6.80. Схематическая геологическая карта фундамента Далматовского месторождения с контурами позднеюрских речных долин и рудных залежей (по А. Б. Халезову, С. Н. Маркову, 2002).

Далматовское месторождение расположено в пределах Зауральского поднятия. Палеодолина, вмещающая месторождение, врезана в кристаллический фундамент, сложенный риолитами и базальтами триаса, известняками и сланцами палеозоя. Два участка месторождения находятся в двух сопряженных палеодолинах, третий - в месте их слияния, четвертый - в долине левого притока (рис. 80). Протяженность обеих палеодолин около 10-12 км, ширина от 0,5 до 7 км, глубина вреза палеодолин в породы фундамента не более 150 м. Палеодолины имеют выровненные днища и довольно крутые борта. Весь объем речной палеодолины заполнен сероцветными аллювиальными осадками среднеюрского возраста, в которых локализованы рудные тела. Рудоносные отложения перекрываются красноцветными осадками пролювиально-озерного генезиса позднеюрско-раннемелового возраста.

В сероцветной аллювиальной толще присутствуют прослои хорошо проницаемых русловых песков, что определяет условия инфильтрации кислородсодержащих вод. Инфильтрация осуществлялась от верховьев палеодолины, которые заходят в поле развития повышенно ураноносных риолитов триаса.

Протяженность рудных залежей Далматовского месторождения достигает нескольких километров при ширине от 100 до 1 200 м. В поперечном сечении - это линзо-, пласто- и роллообразные тела мощностью от 0,5 до 12 м. Наиболее благоприятны для локализации оруденения глинистые тонкозернистые песчаники, а также пачки их переслаивания с алевритоглинистыми породами; обязательным компонентом рудолокализирующих пород является углистое органическое вещество. Основными рудными минералами являются оксиды урана и коффинит. В богатых рудах присутствуют браннерит и давидит.

Спектр сопутствующих компонентов типичен для инфильтрационных месторождений: молибден, селен, рений, иттрий, скандий, полиметаллы, редкие земли, торий. Оработка месторождения может производиться методом подземного выщелачивания.

Протерозойские инфильтрационные месторождения урана, по определению В.И.Смирнова, относятся к законсервированным продуктам древних кор выветривания. Месторождения известны под названием месторождений типа «несогласия». Это название они получили, потому что обычно они приурочены к зонам регионального несогласия между раннепротерозойским складчатым фундаментом и позднепротерозойским платформенным чехлом.

Классические месторождения типа «несогласия» распространены в канадской провинции Атабаска. В районе месторождений на сильно дислоцированных раннепротерозойских гнейсах с резким несогласием залегают позднепротерозойские песчаники формации Атабаска. Рудные тела, приуроченные к этому контакту, располагаются вдоль него в песчаниках в виде линз. Корни тел в виде крутопадающих жилообразных апофиз уходят в породы гнейсового фундамента. В составе первичных руд - настуран, коффинит, а также галенит, сфалерит, халькопирит, минералы кобальта и никеля. Среднее содержание урана 1,47 % (в канадских месторождениях) и 0,24 % (в австралийских). Запасы месторождений от десятков до сотен тысяч тонн. Месторождения: Мидуэст-Лейк, Раббит-Лейк, Ки-Лейк и другие (Канада), Джабилука (Австралия).

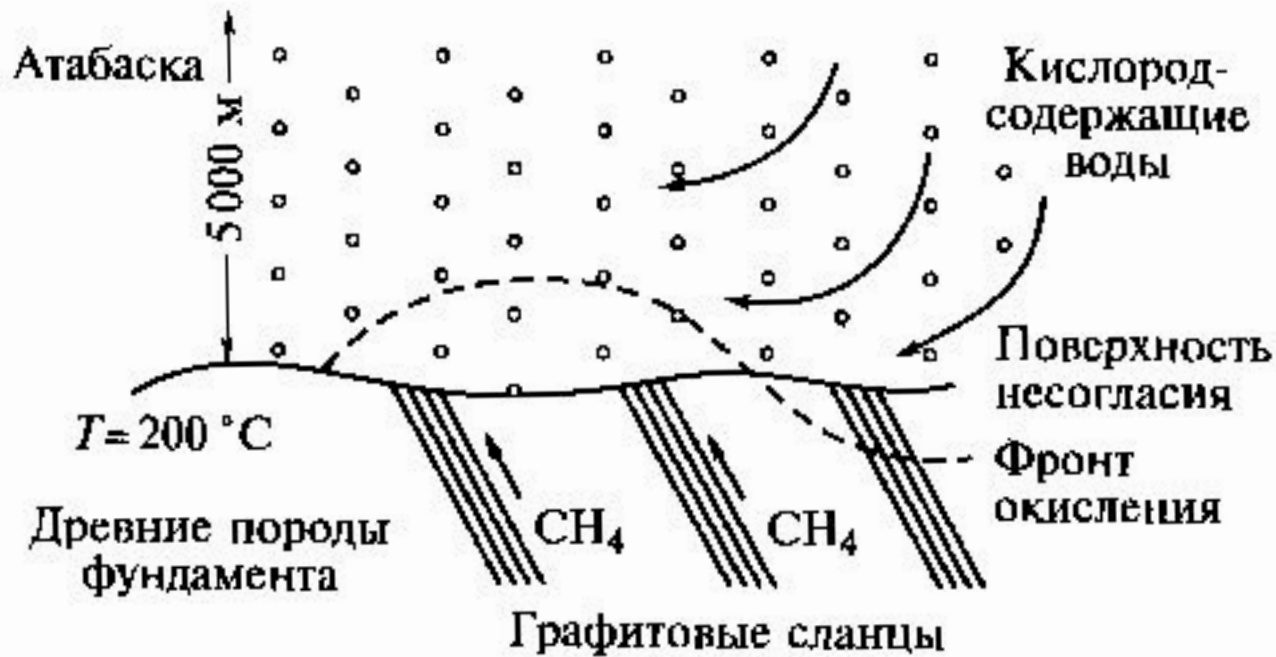


Рис. 6.81. Месторождения в основании формации Атабаска, возможно, образовались при взаимодействии органических веществ, входящих в состав графитовых сланцев фундамента, с урансодержащими подземными водами (по Дж. Мейнاردу, 1985)

Происхождение месторождений типа «несогласия» остается дискуссионным. Одни исследователи считают, что эти месторождения представляют собой корни протерозойских линейных кор выветривания, сохранившиеся под покровом более поздних осадков. Инфильтрационные процессы, образовавшие рудные скопления, происходили после накопления перекрывающих зоны несогласия и реликты кор выветривания осадочных пород (пески Атабаска). Предполагается, что уран отлагался из растворов, циркулировавших в толще песчаных отложений, как это происходило при формировании инфильтрационных «песчаниковых» месторождений роллового типа. Возможным осадителем урана являлись выделения метана, обусловленные постоянным присутствием среди пород фундамента графитовых сланцев. Схема подобного процесса образования месторождений представлена на рис. 81. Присутствие в рудах наряду с урановым минералом различных сульфидов, арсенидов, сульфосолей обуславливает комплексный Au-U, Ni-U состав месторождений и возможно связано с наличием кор выветривания.

Другие исследователи ведущую роль в формировании месторождений «несогласия» отводят гидротермальным процессам, предполагая эндогенный источник рудного вещества. Имеется множество вариантов различных гипотез о происхождении этих месторождений.

Месторождение Мидуэст-Лейк расположено внутри бассейна Атабаска. Характеристика месторождения приводится по данным Н. П.Лаверова и других ученых (1983).

Рудные залежи месторождения Мидуэст-Лейк контролируются, с одной стороны, зоной разрывов и интенсивного изменения пород в фундаменте, а с другой - поверхностью несогласия в основании позднепротерозойского чехла. Рудная зона имеет ширину почти 250 м, протяженность одной из рудных залежей составляет 2 400 м. Оруденение развивается выше и ниже поверхности регионального несогласия. Чехол сложен здесь толщей кварцевых песчаников формации Атабаска мощностью до 200 м. Раннепротерозойские образования фундамента представлены гнейсами, содержащими иногда до 20 % графита, включающими линзы кварцево-полевошпатовых парагнейсов и пегматитов. Положение рудной зоны субпараллельно простиранию пород и совпадает с осью впадины в фундаменте. Вмещающие породы рассланцованы и слабо брекчированы (включая песчаники Атабаски). Они хлоритизированы, серицитизированы и аргиллизированы. В песчаниках формации Атабаска отмечается лишь пятнистая гематитизация, а вблизи руд интенсивно проявлена серицитизация. Наиболее высокие концентрации урана приурочены к горизонтам графитсодержащих пород.

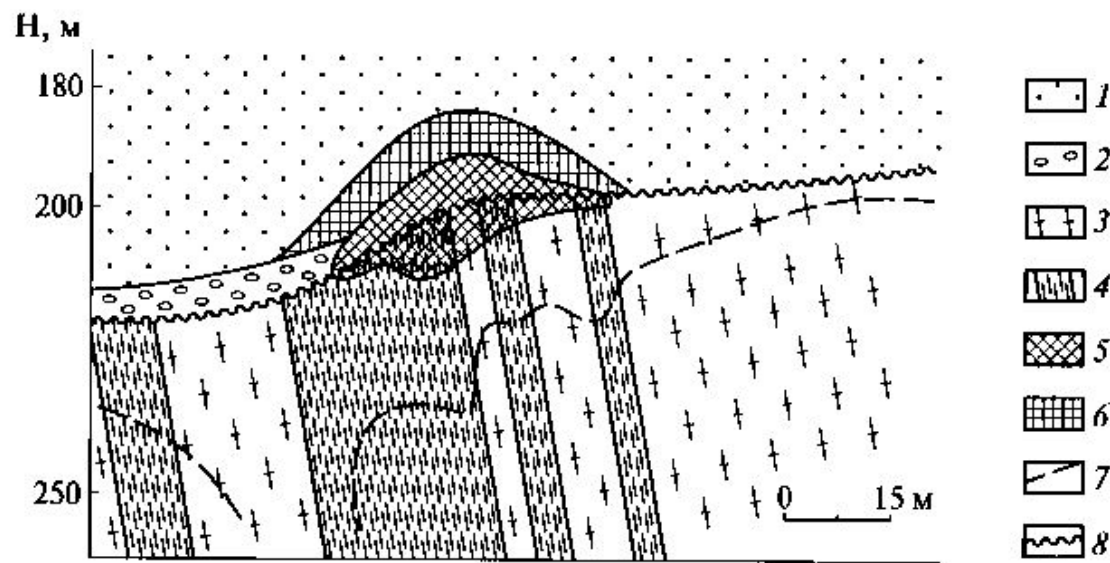


Рис. 6.82. Схематический разрез месторождения Мидуэст-Лейк
(по Н. П. Лаверову и др., 1983):

1—8 — формация Атабаска (1 — песчаники, 2 — конгломераты, 3 — пелитовые гнейсы; 4 — графитовые горизонты, 5 — массивные руды, 6 — сильно измененные породы, 7 — граница зоны каолинизации, 8 — региональное несогласие)

На месторождении выделяются три типа руд. Непосредственно вблизи поверхности несогласия в интенсивно измененных породах фундамента развиты почковидные или массивные настурановые руды с Ni-Co арсенидами, содержащими галенит, сфалерит, сульфиды меди и марказит. В фундаменте на глубине до 100 м от поверхности несогласия, в зоне слабой каолинизации, устанавливаются настурановые и эритрин-аннабергитовые руды, располагающиеся в зонах брекчирования и трещинах. В песчаниках Атабаски настуран образует вкрапленность в зонах серицитизации и «пленки» в мелких трещинах.

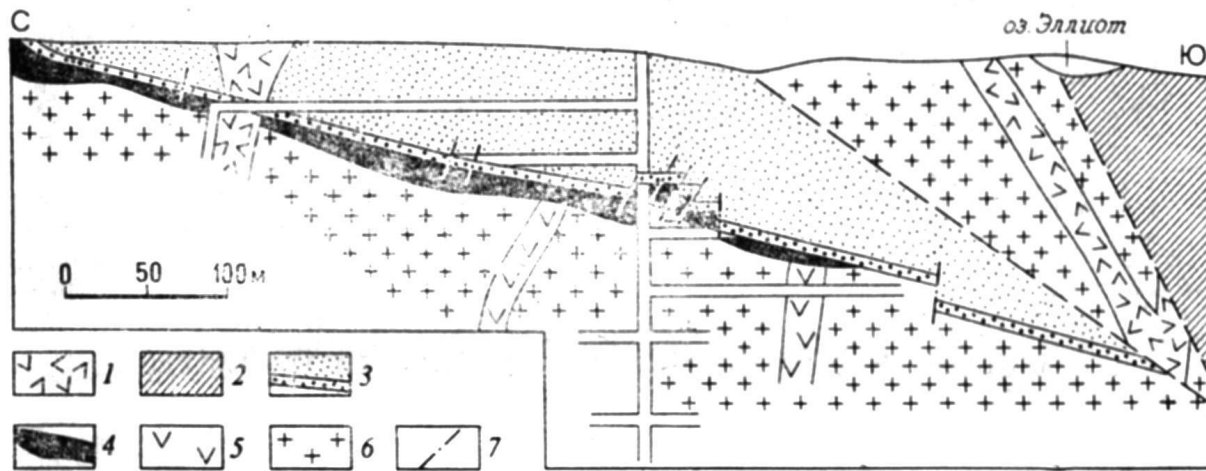
Руды отличаются сложным химическим составом. Торий в них практически отсутствует. Содержания урана колеблются от 0,28 до 14%, никеля - от 0,94 до 4,8%, мышьяка - от 1,68 до 7,62%, меди - от 0,18 до 0,42 %, концентрация серебра достигает 68,3 г/т.

Запасы месторождения урана составляют около 40 тыс. т.

Метаморфогенные месторождения представлены группой метаморфизованных месторождений, расположенных в метаморфических комплексах докембрия. Наибольший интерес представляют древние ураноносные конгломераты.

Месторождения расположены в базальных слоях субплатформенных осадочно-вулканогенных, обычно раннепротерозойских отложений (2 500-2 100 млн лет), которые с резким угловым несогласием залегают на породах архея. Месторождения ураноносных конгломератов известны на Южно-Африканском, Бразильском и Канадском щитах. В настоящее время большинство исследователей рассматривают древние ураноносные конгломераты как метаморфизованные россыпи, которые первоначально формировались в условиях бедной кислородом атмосферы.

Месторождение Эллиот-Лейк находится у северного берега озера Гурон в Канаде. Ураноносные конгломераты располагаются в основании протерозойских метаморфических пород гуронской системы, залегающих на гранитогнейсовых и зеленокаменных комплексах архея.



Геологический разрез месторождения Эллиот-Лейк, Канада. По А. Литтлу и др.

1 — диабазовые дайки; 2 — кварциты и другие гуронские отложения, залегающие под группой Эллиот; 3 — пелиты, псаммиты, конгломераты группы Эллиот; 4 — подстилающие рудоносные конгломераты; 5 — диабазы архея; 6 — гранитоиды архея; 7 — разрывные нарушения

Урановые руды локализованы в кварцево-галечных конгломератах. Общая мощность рудоносной толщи достигает 300 м. Обогащенные ураном участки приурочены к палеоруслам и эрозионным депрессиям в архейском фундаменте, глубина вреза которых достигает 100 м и более.

Рудоносные конгломераты сложены окатанной галькой размером от 1 до 10 см. Наиболее существенные концентрации урана приурочены к разностям конгломератов с размером галек от 2 до 6 см. Гальки представлены почти исключительно белым и серым кварцем, кварцитами, яшмами, другими кремнистыми породами, в отдельных случаях гранитоидами. Цементом служит разнозернистый кварцевый песчаник с кварц-серицитовый или хлорит-серицитовый основной массой. В цементе присутствует много сульфидов. Соотношение гальки и цемента в рудных конгломератах составляет 70:30 или 60:40.

Рудные тела представляют собой линзоподобные залежи («риффы»), образованные переслаиванием рудоносных конгломератов и безрудных кварцитов. Мощность рудных прослоев обычно не превышает 3 м, но в разрезе они часто группируются в рудоносные пачки, состоящие из двух-четырех пластов. По простиранию залежи («риффы») прослеживаются на несколько десятков километров.

Содержание урана в рудах в среднем близко к 0,1 %. Лишь на отдельных участках установлены богатые (до 1,5 % урана) руды.

Урановые минералы в рудах представлены браннеритом и уранинитом, образующими вкрапленность в цементе конгломератов. Отмечаются также ураноторит, тухолит, коффинит и гуммит, встречаются циркон, ортит, ксенотим, монацит и сфен; в рудах много пирита (до 20 %). Предполагается, что уранинит, как и некоторые браннериты, имеет обломочное происхождение. Однако для большей части браннеритов допускается образование в результате эпигенетических процессов.

Концентрация золота в ураноносных конгломератах Эллиот-Лейк низкая. Типичные сопутствующие элементы урана в конгломератах - торий, титан, цирконий и редкие земли. Их содержания колеблются в значительных пределах: от кларковых до промышленных.

По В.И.Смирнову, в истории формирования месторождения Эллиот-Лейк выделяется три этапа. На первом этапе в палеодельтовой обстановке произошло накопление кварцевых конгломератов с примесью магнетита, монацита, циркона, возможно обломочной фракции урановых минералов. На втором этапе имело место инфильтрационное обогащение конгломератов ураном, вызванное пластовой циркуляцией подземных вод. На третьем этапе происходила перегруппировка рудообразующего вещества в результате процессов зеленосланцевого метаморфизма.

Месторождение располагало крупными запасами урана - до 300 тыс. т при среднем содержании U_3O_8 0,1 %.

Торий

В настоящее время его используют в электровакуумной и электроосветительной технике. Потребность в нем составляет около 300 т в год.

Собственно ториевые месторождения неизвестны. Его получают попутно при переработке комплексных руд редкометалльных месторождений. Основным носителем тория является монацит из прибрежно-морских россыпей. При переработке монацитового концентрата для получения редкоземельных элементов остается торий, количество которого превышает потребности, и поэтому его либо складировуют как резерв, либо как отходы сбрасывают в отвалы. Разведанные запасы тория в россыпях оцениваются в 1 754 тыс. т, наиболее крупные в Бразилии, Турции, Индии. Ресурсы монацита превышают 4 млн т.

Основные производители монацитовых концентратов: Австралия, Индия, Малайзия, Бразилия, ЮАР.

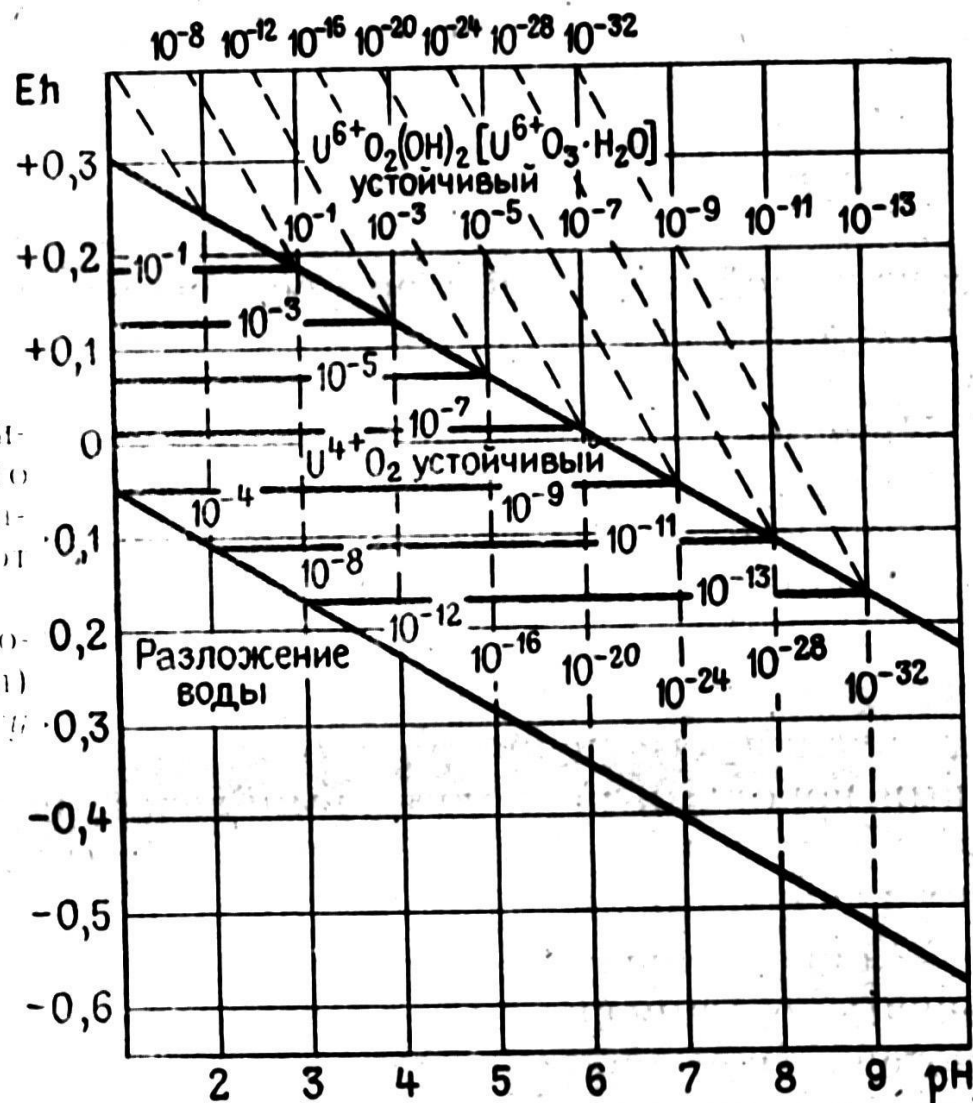
Общий кларк тория - $1,5 \cdot 10^{-3}\%$. Отмечается рост содержания от базальтоидных к гранитоидным породам и особенно к щелочным. В эндогенных процессах торий накапливается в гранитоидных и особенно в щелочных магмах. Благодаря близости ионных радиусов в эндогенных условиях широко проявляется изоморфизм между торием, редкоземельными элементами, иттрием и ураном. Поэтому все редкоземельные акцессорные минералы - монацит, ортит, титанотанталониобаты - обогащены торием и ураном.

Среди множества ториевых и торийсодержащих минералов главнейшими являются: ториянит, бреггерит, торит, ураноторит, ферриторит, эшинит, приорит, торийсодержащий монацит.

Торийсодержащие месторождения формировались на всем протяжении истории земной коры.

Как было отмечено ранее, торий извлекается из комплексных месторождений редких и редкоземельных элементов. Такие месторождения весьма разнообразны. Среди эндогенных объектов к ним относятся: некоторые магматические, карбонатитовые (закрывающие 40% ресурсов Th), пегматитовые, альбититовые (Джое, Нигерия), гидротермальные жильные (31 % ресурсов). В серии экзогенных образований преобладают аллювиальные и прибрежно-морские современные и древние россыпи торийсодержащего монацита. Метаморфогенные месторождения представлены ураноносными конгломератами (Витватерсранд, Эллиот-Лейк).

Поля устойчивости четырехвалентного уранистого в зависимости от кислотно-щелочных (pH) и окислительно-восстановительных (Eh) условий. По Р. Гаррелсу



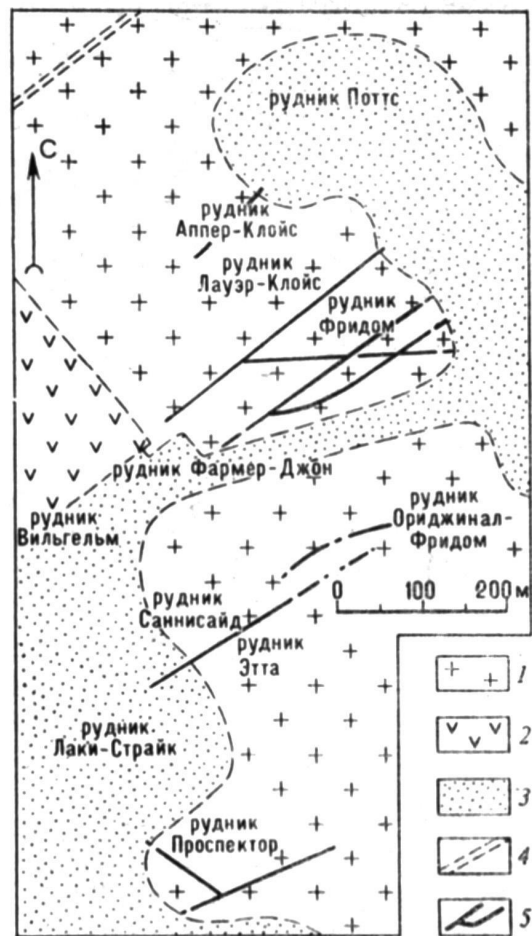
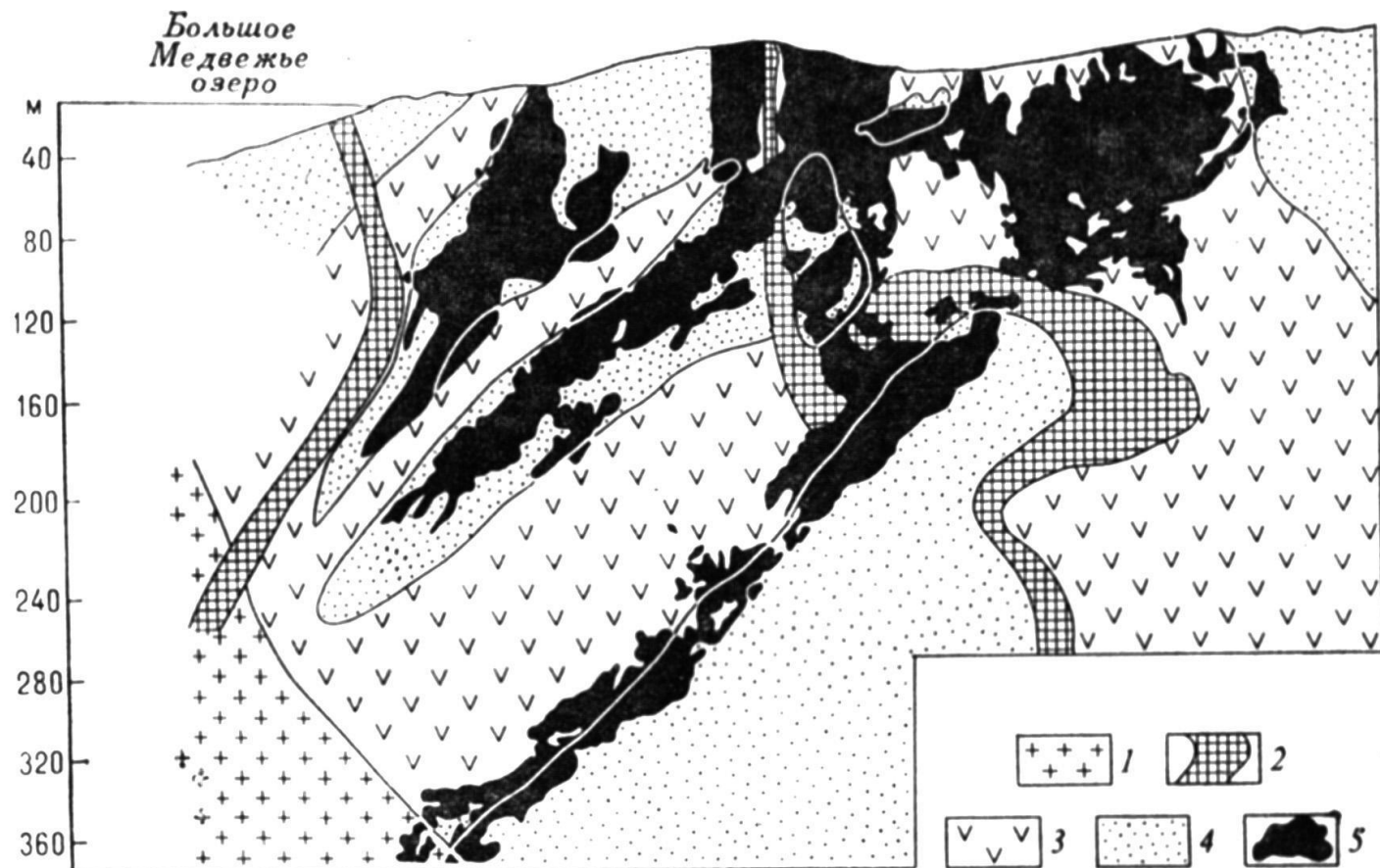


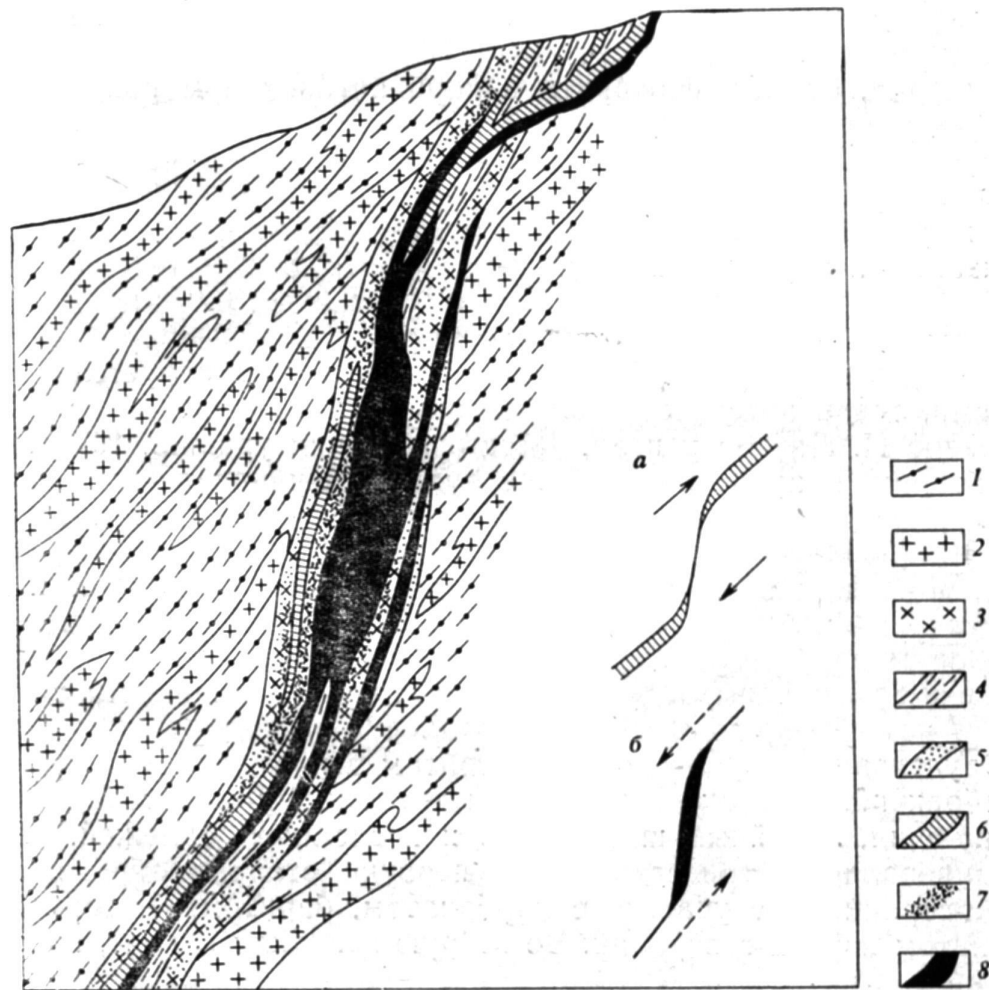
Схема геологического строения месторождения Мэрисвейл.
По П. Керру.

1 — монцониты; 2 — граниты, 3 — риолиты; 4 — риолитовые дайки; 5 — рудные жилы



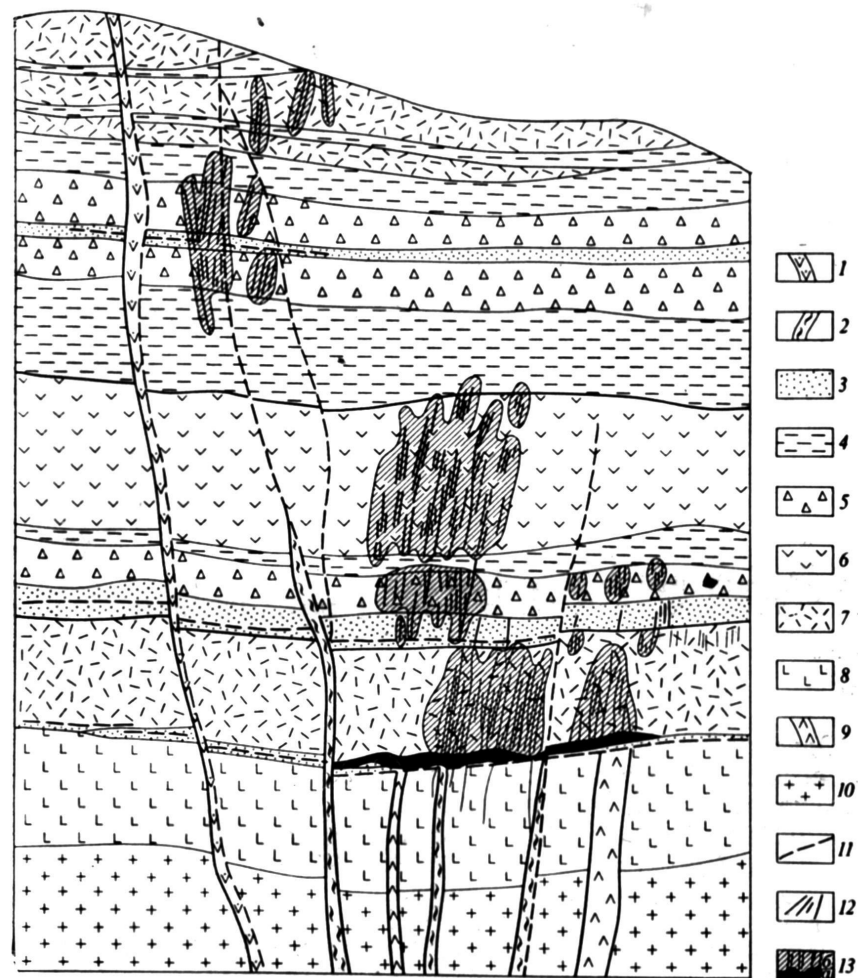
Рудные столбы на продольной проекции жилы 3 месторождения Порт-Радий. По Д. Кемпбеллу.

1 — граниты; 2 — диабазы; 3 — порфиры; 4 — осадочные породы; 5 — руда



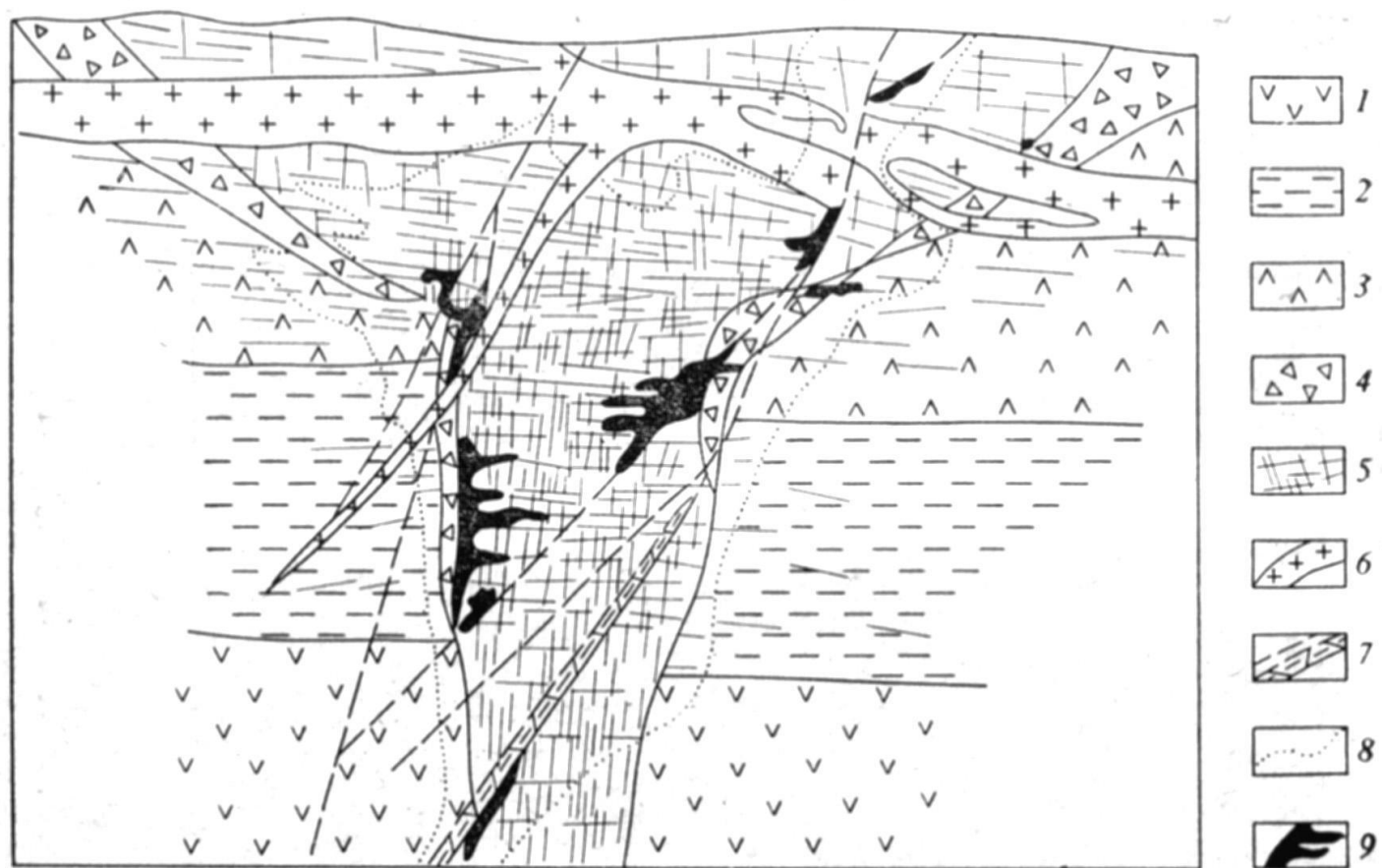
Поперечный геологический разрез месторождения уран-титановой формации. По В. Крупенникову и др. (Месторождения урана ..., 1976).

Направление подвижек по разлому при формировании: а — барит-кварцевых жил, б — руд:
 1 — кристаллические сланцы и гнейсы; 2 — граниты; 3 — кварц-полевошпатовые породы;
 4 — бластомилониты по дайкам диоритов; 5 — пирит-калишпатовые метасоматиты; 6 — барит-кварцевые жилы; 7 — барит-кварцевые прожилки; 8 — рудные тела



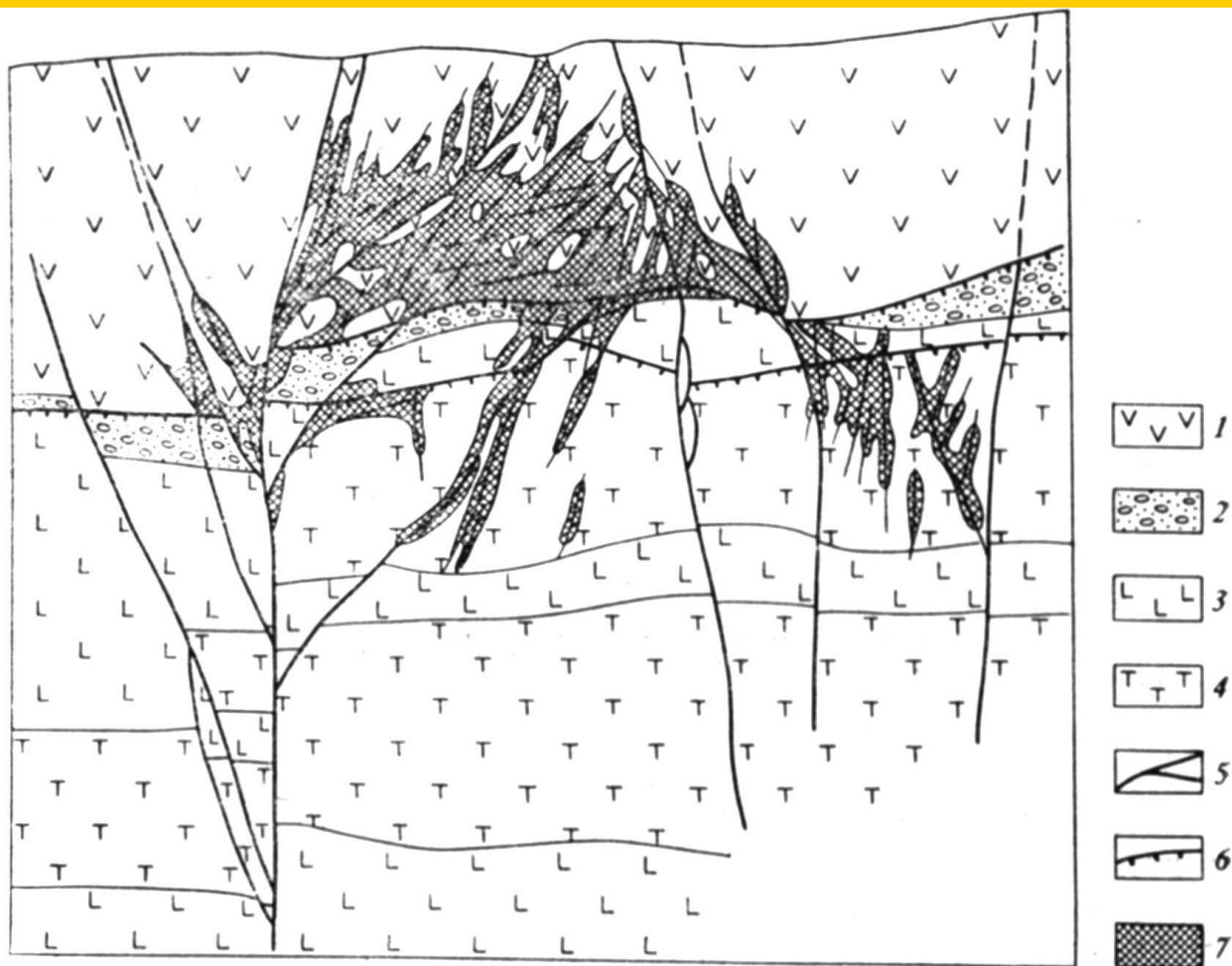
Геологический разрез месторождения уранинит-галенитовой формации.
По Н. Лаврову и др. (Месторождения урана..., 1976).

1, 2 — дайки: 1 — кварцевых порфиров, 2 — фельзитов; 3 — туфиты, туфопесчаники, агломераты; 4 — игнимбриты липаритов и лавы кварцевых порфиров; 5 — туфобрекчия липаритов; 6 — кристаллокластические туфы кварцевых порфиров; 7 — туфы кварцевых порфиров с прослоями игнимбритов; 8 — лаваагломераты андезитов; 9 — дайки гранодиорит-порфиров и андезитов; 10 — граниты; 11 — тектонические швы; 12 — уранинитовые жилы и прожилки; 13 — рудные тела (а — пластовые, б — штокверки)



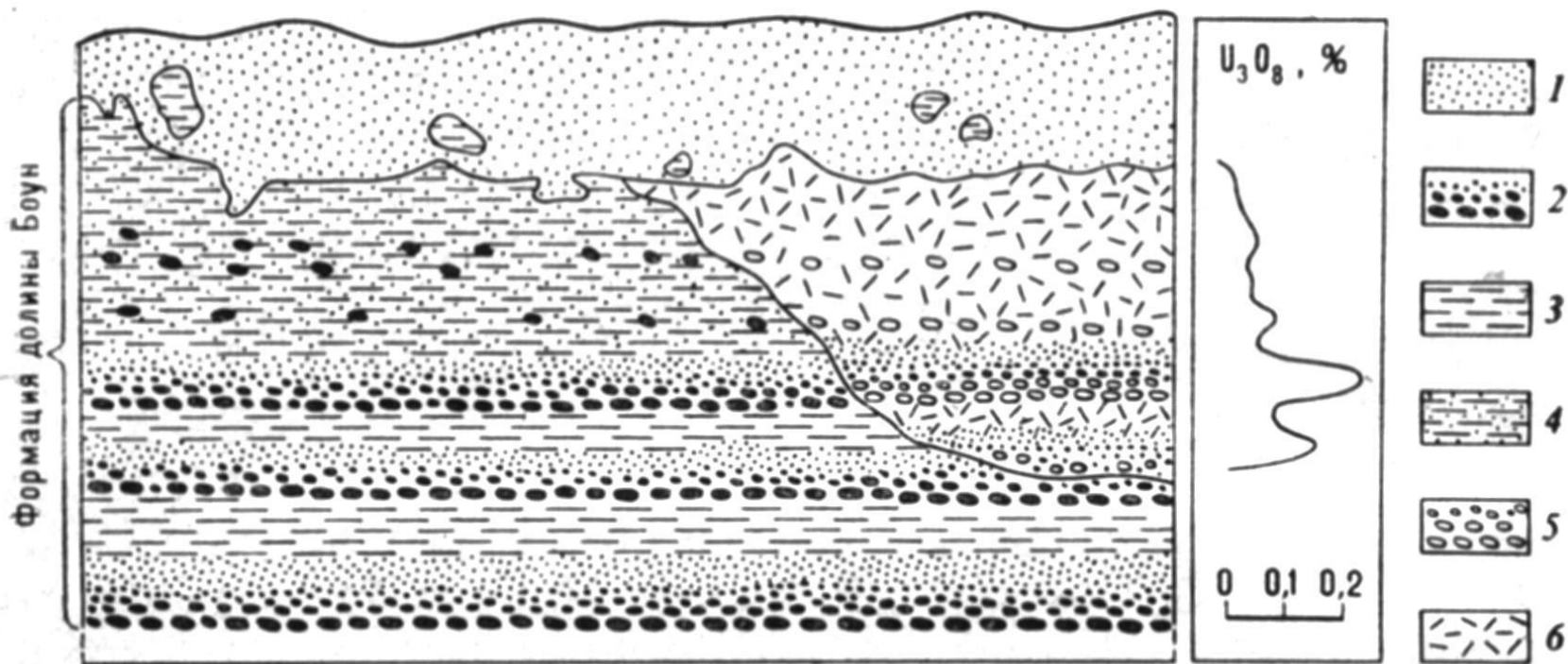
Поперечный разрез месторождения уранинит-молибденитовой формации. По Н. Лаврову и др. (Месторождения урана..., 1976).

1—3 — покровы: 1 — массивных фельзит-порфиров, 2 — флюидалных фельзит-порфиров, 3 — игнимбритов; 4 — эруптивные брекчии фельзитового некка; 5 — фельзиты некка; 6 — дайки гранит-порфиров; 7 — разрывы; 8 — граница контура измененных пород; 9 — рудные тела



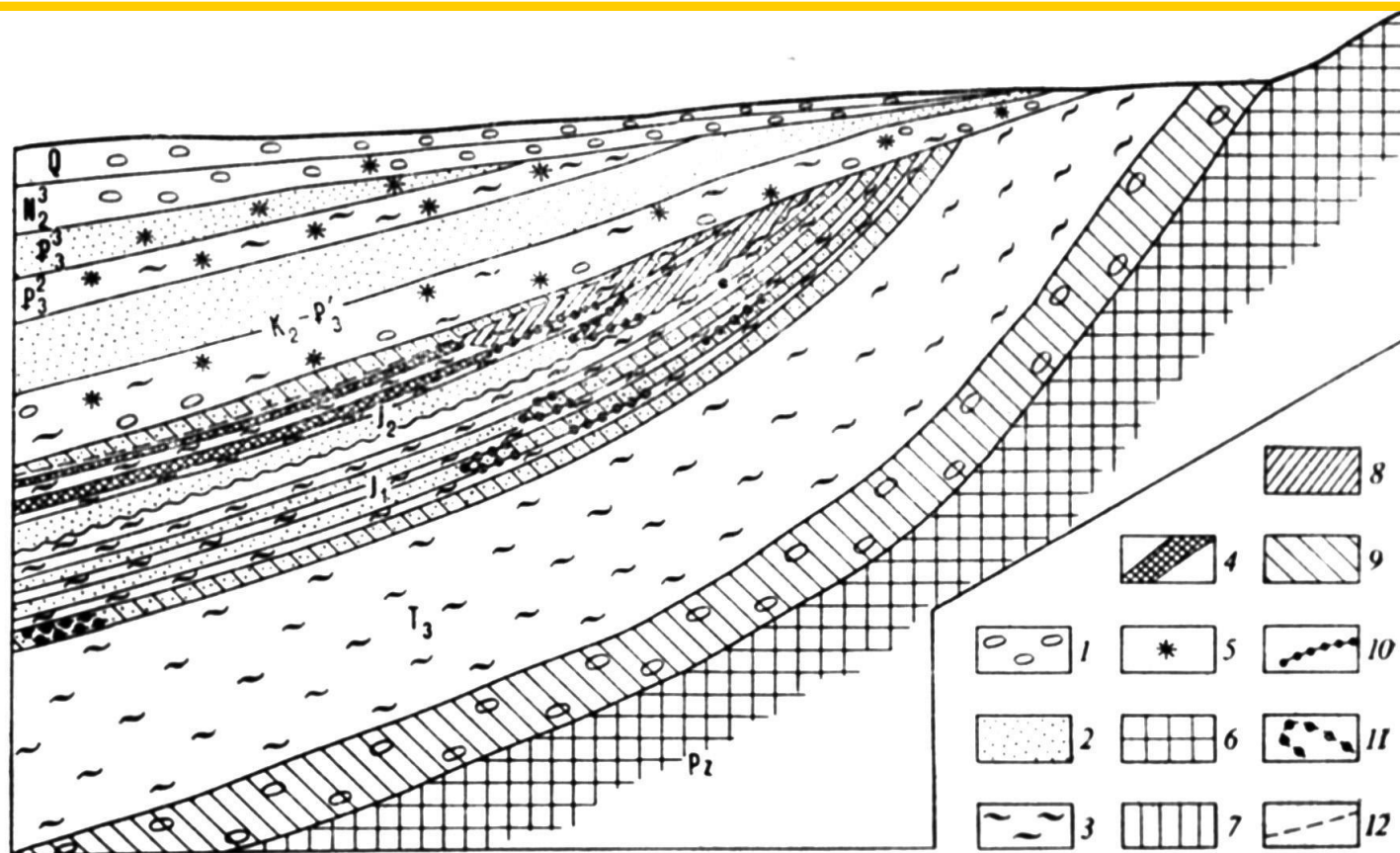
Геологический разрез месторождения уранинит-флюоритовой формации. По Н. Лаверову и др. (Месторождения урана..., 1976).

1 — фельзиты и эруптивные брекчии фельзитов; 2 — конгломераты; 3 — андезитобазальты и их брекчии; 4 — дациты и туфы; 5 — крутопадающие разрывы; 6 — послойные нарушения; 7 — рудные тела



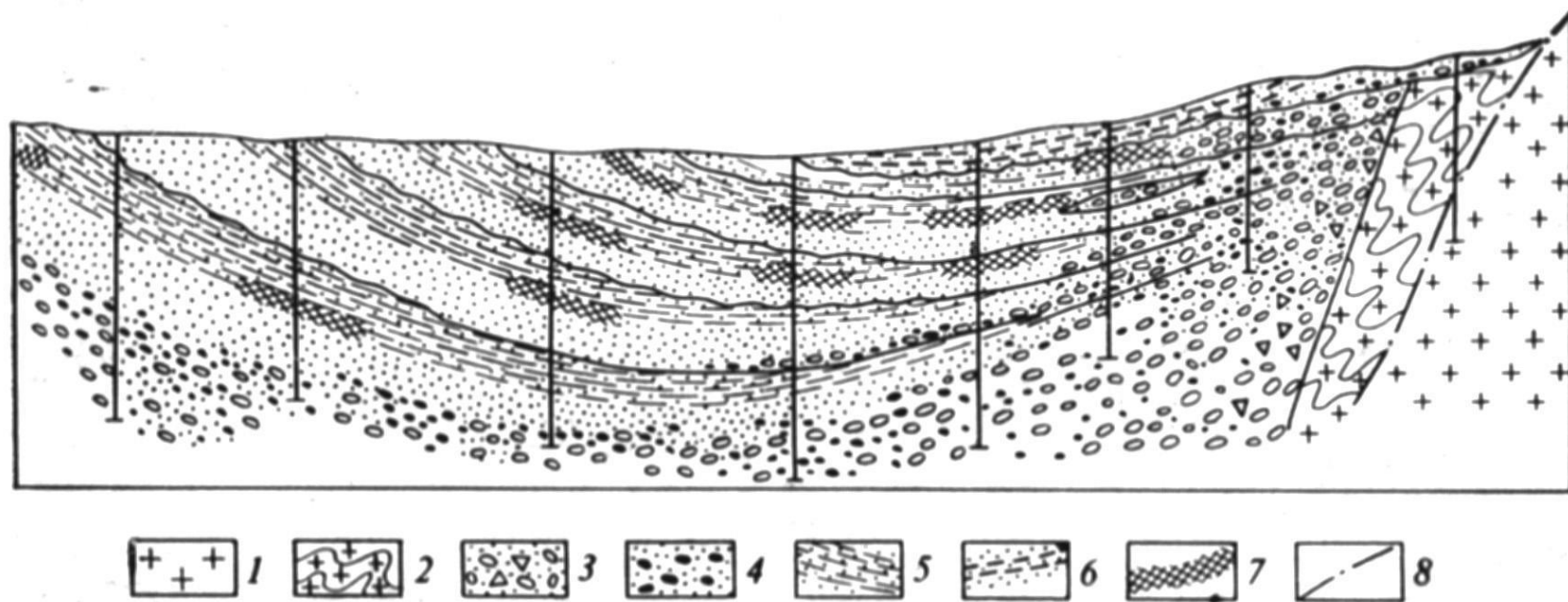
Разрез ураноносных фосфоритов района Боун, Флорида. По А. Альтшулеру и др.

1—3 — зона фосфатов кальция: 1 — кварцевые пески, 2 — обломочный апатит, 3 — глины, 4 — песчанистые глины; 5, 6 — алюмофосфатная зона: 5 — выветрелая кавернозная порода, 6 — фосфатизированные глины



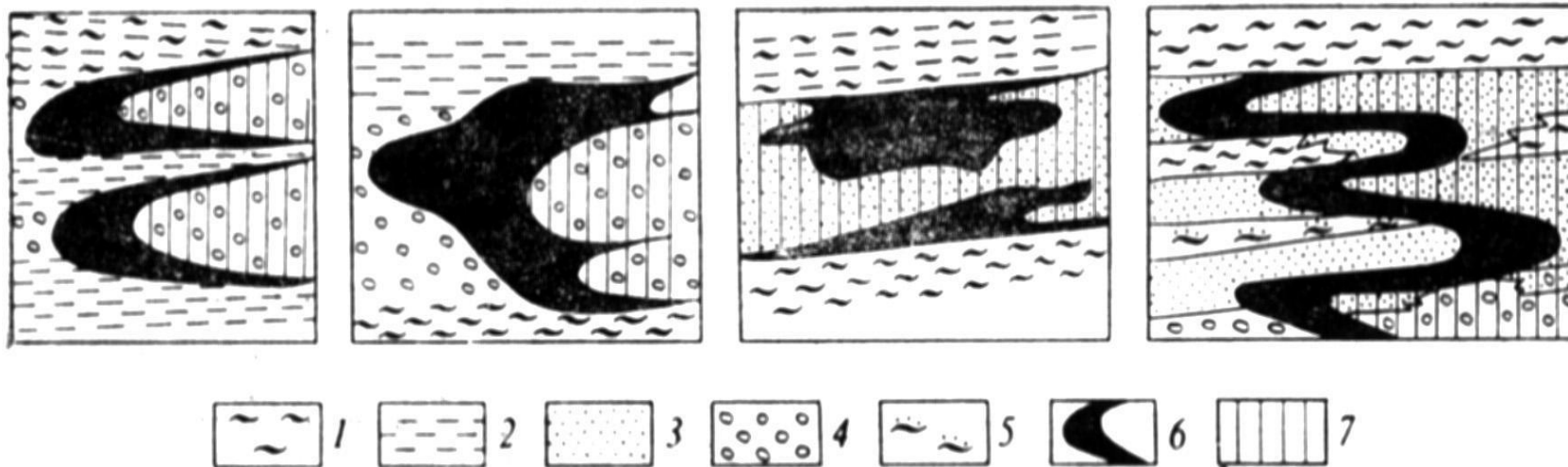
Геологический разрез краевой части уран-угольного месторождения.
По А. Столярову и С. Расуловой (1982).

1 — конгломераты, гравелиты; 2 — пески и песчаники; 3 — глины; 4 — угли; 5 — первичная красноцветность пород; 6 — породы фундамента; 7—9 — зоны окисления: 7 — древнего поверхностного, 8 — древнего грунтового и пластового первого этапа рудообразования, 9 — пластового второго этапа рудообразования; 10, 11 — зоны уранового оруденения: 10 — установленные, 11 — предполагаемые; 12 — предполагаемые границы зоны древнего поверхностного окисления



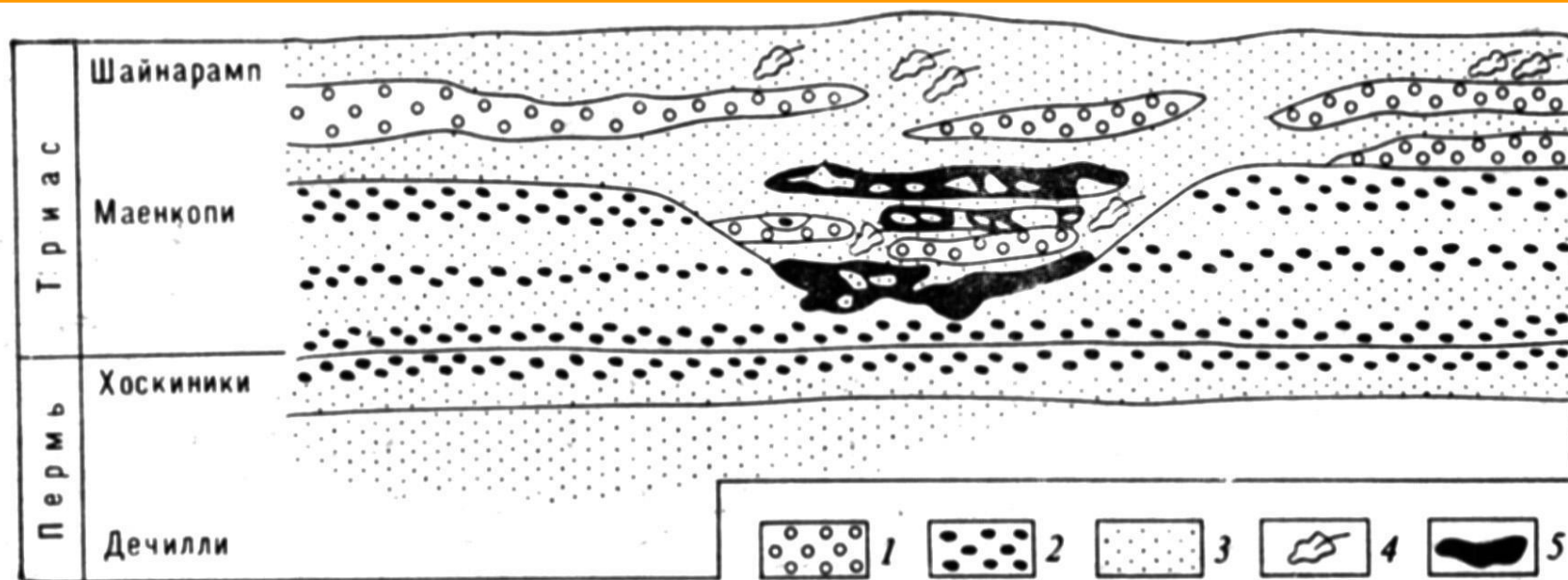
Схематический геолого-литологический профиль месторождения урана в континентальных обломочных отложениях. По В. Котляру и др. (Месторождения радиоактивных и редких металлов, 1973).

1 — гранитоиды; 2 — гнейсы; 3 — конглобрекции; 4 — песчаники с участками гравелитов; 5 — алевриты; 6 — глины; 7 — рудоносные участки; 8 — разломы



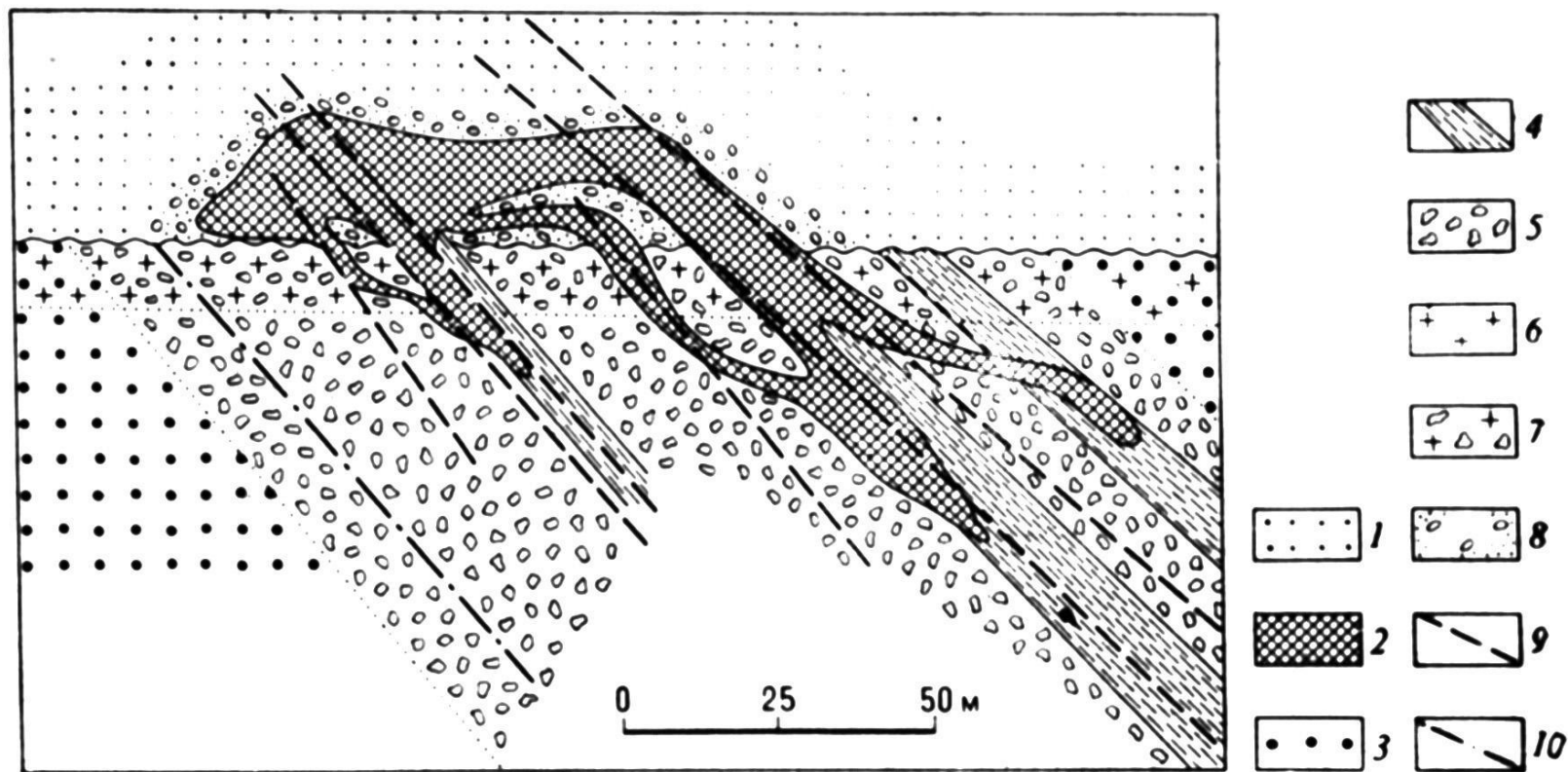
Характерные формы внутрипластовых роллов. По Н. Лаверову и др.
(Месторождения урана..., 1976).

1 — алевролиты; 2 — глины; 3 — песчаники; 4 — гравелиты; 5 — запесоченные глины; 6 — рудные тела; 7 — зоны пластового окисления



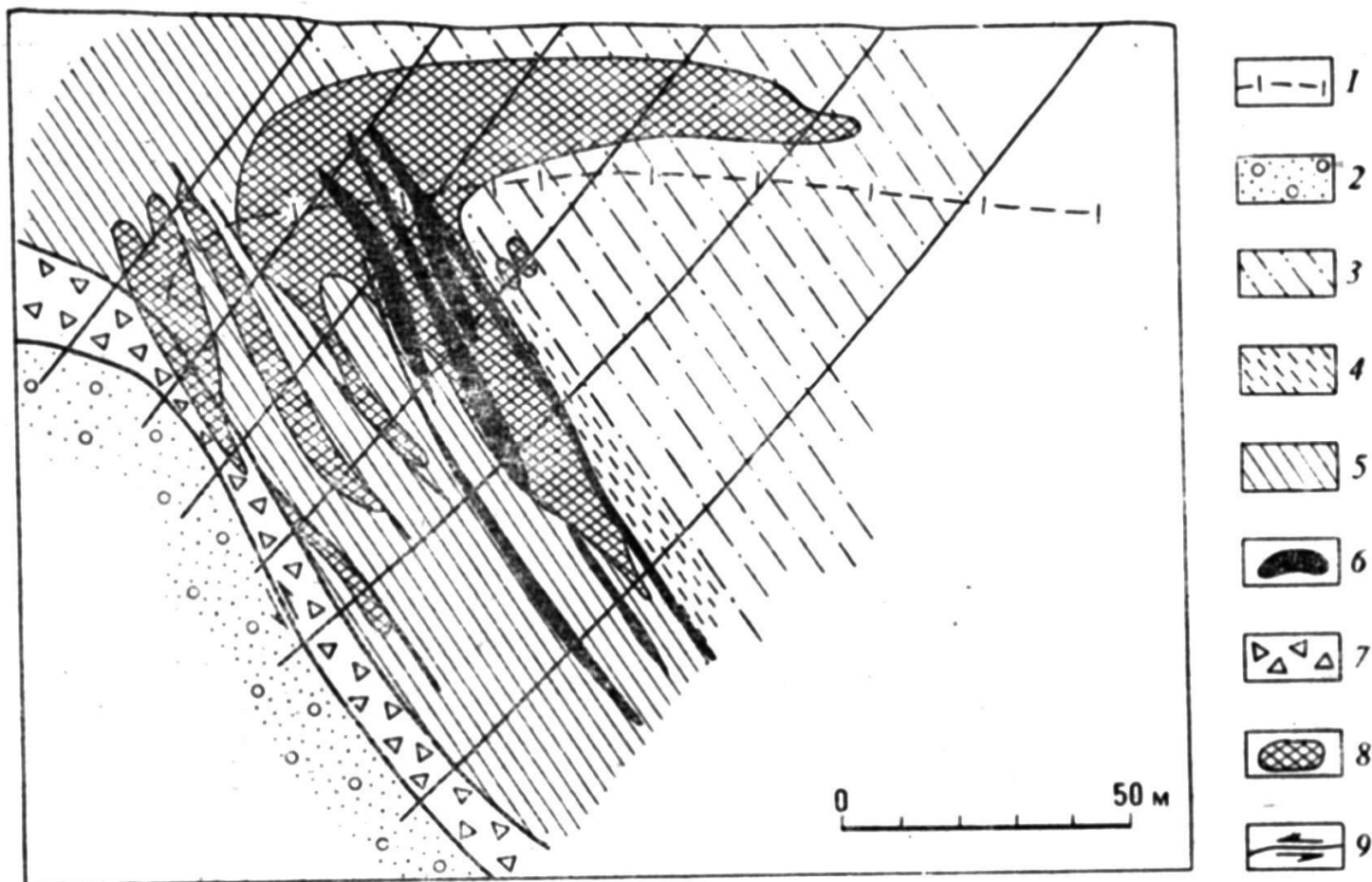
Формы рудных тел в конгломератах и песчаниках Моньюмент-Валли, плато Колорадо. По П. Керру.

1 — конгломераты; 2 — аргиллиты; 3 — песчаники; 4 — окаменелые растительные остатки; 5 — урановая руда



Геологический разрез месторождения Раббит-Лейк, Канада. По Н. Лаврову и др. (1983).

1 — песчаники формации Атабаска; 2 — руда; 3 — неизмененные гнейсы; 4 — графитовые сланцы; 5 — измененные гнейсы; 6 — реголиты; 7 — измененные реголиты; 8 — измененные песчаники; 9 — зоны дробления; 10 — надвиг Атабаска



Поперечный разрез рудного тела месторождения Кунгарра в районе Аллигейтор Риверс, Австралия. По Г. Риану.

1 — граница зоны окисления; 2 — песчаники формации Комболджи; 3—6 — сланцы: 3 — кварц-мусковит-хлоритовые (с гранатом и пиритом), 4 — графит-кварц-хлоритовые, 5 — кварц-хлоритовые, 6 — кремнистые; 7 — приразломные брекчии; 8 — рудные тела; 9 — тектонические швы и направления движения по ним.

Урановые месторождения

Уран в промышленных целях стал использоваться с конца 40-х годов прошлого века. Развитие ядерного оружия обусловило высокий спрос на уран в самом начале развития атомной энергетики. Потребности в уране подвержены существенным колебаниям; они определяют колебания цен на него. Резкое увеличение цен (до 100 долл./кг) отмечено в годы активного наращивания атомного оружия (1978—1980гг.). С 1985 г. наступает относительная стабилизация цен на низком уровне — от 20 до 40 долл./кг.

Производство урана за последние годы, начиная с 1988 г., систематически снижается и в настоящее время уже не обеспечивает все возрастающие потребности атомной энергетики. Его мировое производство из природных объектов в 2000 г. составило 36 тыс. т. На 1 января 2001 г. в мире работало 438 блоков АЭС; потребность топлива в пересчете на природный уран составила 63 233 т. Более чем по 1000 т потребляли 12 стран, а более 2000 т — 8 стран.

Наиболее высокие потребности у США — 20 570 т, что составляет 32,5 % от мирового уровня. Потребности России выражаются цифрой 9170 т, но сюда входит доля экспорта в некоторые страны СНГ и Восточной Европы. Далее следует Франция (8879 т), Япония (7500 т), Южная Корея (3400т), Германия (3350т), Великобритания (2250т). Для покрытия недостатка в природном уране, кроме расширения его сырьевой базы, используются складские запасы. Дефицит между спросом и производством, который покрывается складскими запасами, остается значительным (около 50 %).

Существующий дефицит может быть снижен за счет российского оружейного высокообогащенного урана, который перерабатывается в низкообогащенный. Его производство в ближайшие годы оценивается в 8 тыс. т в пересчете на природный уран.

По данным на 01.01.2002 г., разведанные запасы урана стоимостной категории до 80 долл./кг оцениваются в 2500 тыс. т. Наиболее крупными запасами (более 100 тыс. т) владеют 8 стран: Австралия — 667; Казахстан — 433; Канада — 314,5; ЮАР — 231; Бразилия — 162; Намибия — 144; Россия — 138; США — 104.

Наиболее крупными производителями урана являются: Канада, Австралия, Нигер, Намибия, Россия, Узбекистан, Казахстан, США, Украина, ЮАР.

В России в настоящее время действует только одно предприятие, добывающее уран, — Приаргунское производственное горно-химическое объединение, разрабатывающее Стрельцовскую группу месторождений в Читинской области.

К крупным относятся месторождения урана с запасами более 10 тыс. т, к мелким — менее 1 тыс. т. Из более чем 100 урановых минералов наибольшее промышленное значение имеют уранинит (настуран, урановая смолка) и его аморфная разновидность — урановая чернь. В различных типах руд присутствуют также браннерит, давидит, ураноторит, уранофан, коффинит, отенит, торбернит, карнотит.

Урановые месторождения весьма разнообразны по условиям залегания, обстановкам локализации руд, генезису. Наибольшее значение в экономике имеют месторождения четырех геолого-промышленных типов: тип «несогласия» — дает более 40 % добычи; «песчаниковый» тип — 24,5 %; медно-золотой и золотой с попутной добычей урана — 13,6 %; жильно-штокверковый тип — 10,8 %.

Классические месторождения типа «несогласия» распространены в канадской провинции Атабаска. В районе месторождений на сильно дислоцированных раннепротерозойских гнейсах с резким несогласием залегают позднепротерозойские песчаники формации Атабаска. Рудные тела, приуроченные к этому контакту, располагаются вдоль него в песчаниках в виде линз. Корни тел в виде крутопадающих жильнообразных апофиз уходят в породы гнейсового фундамента. В составе первичных руд — настуран, коффинит, а также галенит, сфалерит, халькопирит, минералы кобальта и никеля. Среднее содержание урана — 1,47 % (в канадских месторождениях), 0,24 (в австралийских). Запасы месторождений — от десятков до сотен тыс. т. Месторождения Мидуэст-Лейк, Раббит-Лейк, Ки-Лейки др. (Канада), Джабилука (Австралия).

Месторождения «песчаникового» типа широко распространены в урановорудной провинции Вайоминг (США). Многочисленные урановые месторождения пластово-инфильтрационного типа локализованы в меловых и палеоген-неогеновых песчано-глинистых отложениях, толщи которых залегают почти горизонтально. Это одни из наиболее крупных по запасам и добыче месторождения, они отличаются причудливой формой рудных тел (ролловой, серповидной, в плане лентовидной), сформированных в результате фильтрации пластовых артезианских вод, отлагавших растворенный выщелоченный уран и сопутствующие ему компоненты на восстановительном «геохимическом барьере».

В составе руд преобладают настуран и коффинит. Среднее содержание урана — 0,03 — 0,15 % (эти руды разрабатываются методами подземного выщелачивания). Более богатые руды с содержанием 0,2 — 0,3% разрабатываются горным способом. Глубина залегания рудных тел — от нескольких метров до 300 м. Крупнейшие месторождения провинции: Шерли-Бейсин, Гэз-Хилс, Саут-Хилс, Норт-Хилс, месторождения бассейна Паудер-Ривер, Хайленд и др. К этому типу относятся среднеазиатские месторождения Кызылкумского района и другие.

В третью группу объединены месторождения, известные под названием «золотоносных конгломератов», кратко охарактеризованные выше (см. золоторудные месторождения), и уникальное месторождение Олимпик Дам (Австралия), относящееся, по некоторым данным, к типу «медистых песчаников», содержащее грандиозные запасы меди, урана, золота и серебра.

Месторождения жильно-штокверкового типа — довольно разнообразные объекты эндогенной серии. Они представлены гидротермальными вулканогенными, плутогенными и метасоматическими образованиями. Сюда могут быть отнесены альбититовые месторождения Украинского кристаллического щита, жильно-штокверковые месторождения Кокчетавского рудного района и месторождения Стрельцовского рудного поля. Последние приурочены к крупной кальдерообразной структуре — депрессии, возникшей на жестком гранитном основании. Вулканогенно-осадочные породы, выполняющие депрессию, мощностью около 1000 м, сложены лаво-пирокластическими образованиями андезитового состава, туфами, экструзивными риолитами, игнимбритами, туфопесчаниками и т. д. Преимущественно среди туфов развиты оруденелые штокверковые зоны и послыйные залежи. Оруденение охватывает интервал 500 — 700 м. Руды малосульфидные коффинит-настурановые и сульфидно-пастурановые с галенитом и молибденитом.

Месторождение полезных ископаемых

Месторождение полезных ископаемых - природное или техногенное скопление минерального сырья, которое по своим качественным, количественным, горнотехническим, географо-экономическим и геозоологическим параметрам соответствует условиям его рентабельной разработки. Если по имеющимся данным еще неясно промышленное значение оцениваемого скопления руд, пользуются понятием потенциальное месторождение.

Качественные параметры включают:
содержание главных второстепенных (при комплексных рудах) и вредных компонентов;
состав рудных и жильных минералов;
текстуры и структуры руд;
технологические характеристики руд.

Количественные параметры включают:
запасы руд (Q), представляющие собой оконтуренные и посчитанные или предварительно оцененные их объемы (массы) в недрах;
ресурсы (P) - предполагаемые объемы руд.

В России существуют четыре градации (категории) запасов по степени их достоверности (разведанности) - А, В, С1 и С2. К категории А относят полностью изученные, В - изученные в основных особенностях, С1 - в общих чертах, С2 - по единичным пересечениям. Таким образом, запасы А, В и С1 считаются разведанными, а С2 - предварительно оцененными. Категории запасов России соответствуют следующим образом запасам Горного бюро США:
А + В - достоверные, оцененные, измеренные (measured);
С1 + частично С2 - вероятные, предварительно оцененные (indicated);
частично С1 - возможные, предположительные (inferred).

Среди ресурсов в России выделяют три группы:
Р1 - известных месторождение;
Р2 - потенциальных месторождений;
Р3 - перспективных районов.

Горнотехнические параметры включают условия и элементы залегания рудных тел, обводненность и загазованность месторождений, физико-механические свойства рудных тел и вмещающих их пород.

Географо-экономические параметры характеризуются рельефом, климатическими условиями, инфраструктурой, обеспеченностью энергией, строительными йтериалами и персоналом района расположения месторождения и стоимостью имеющегося полезного компонента.

Геозоологические параметры включают ценность земель отчуждения при освоении месторождения по сравнению с другими видами их использования (в сельском хозяйстве, рекреации иф.) и затраты на очистку поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха и рекультивацию ландшафтов после отработки объекта.

Отмеченные критерии оценки скоплений минерального сырья в качестве месторождений полезного ископаемого являются важнейшими в недропользовании, поэтому ниже они рассмотрены более подробно.

Помимо месторождений встречаются и другие скопления полезных компонентов. Различают следующие иерархические уровни их концентраций:
геохимическая концентрационная аномалия, в которой содержание полезного компонента более чем в несколько раз превышает фон;
точка минерализации (пункт минерализации), где найдены рудные минералы;
проявление полезного компонента, в котором содержание полезного компонента приближается к его убогим рудам;
рудопроявление, где есть хотя бы одно рудное пересечение;
рудное тело, руда из которого может быть добыта;
рудоносная зона, объединяющая ряд рудных тел;
месторождение;
рудное поле, где сгруппированы одно или несколько месторождений и сопутствующие им рудопроявления;
рудные узел, район, провинция, бассейн и пояс, которые объединяют в разных масштабах месторождения полезных ископаемых.

Рудопроявление - скопление минерального сырья, которое соответствует требованиям промышленности только по своим качественным параметрам, но практически не имеет выявленных запасов.

Рудная формация - группа месторождений, имеющих сходные минеральный состав руд, рудосопровождающих изменений вмещающих пород (метасоматитов), рудоносных пород и геолого-структурную позицию, но отличающихся своим возрастом. Иногда пользуются близким понятием геолого-промышленного типа месторождений, под которым понимают распространенную группу месторождений, которые имеют похожие форму рудных тел, минеральный состав руд и рудовмещающих пород и закономерности локализации рудных залежей.

Рудоконтролирующими и рудолокализирующими элементами (структурами) считаются такие составляющие геологического строения, которым подчиняются расположение рудных тел, рудоносных зон и месторождений (отдельные разломы, породы определенного состава, метасоматиты, сочетание проницаемых и экранирующих образований и пр.).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ