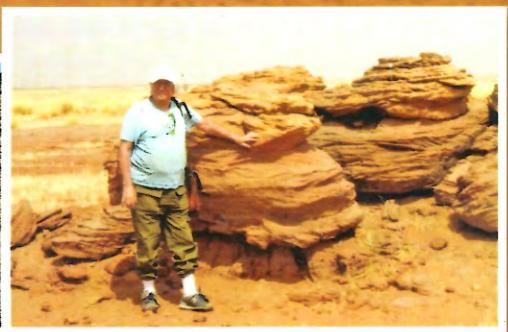
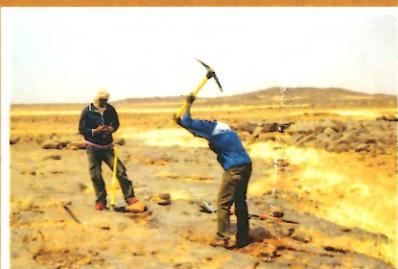


Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГУП «ВИМС»)

КРУПНЕЙШИЕ УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИРА



Всероссийский
Институт
Минерального
Сырья

**Минеральное
сырье**

27 · 2012

Москва-2012

**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н.М.Федоровского» (ФГУП «ВИМС»)**

**«Минеральное сырье»
№ 27**

**А.В.Тарханов, Е.П.Бугриева
(ОАО «ВНИИХТ»)**

КРУПНЕЙШИЕ УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИРА

Под редакцией профессора Г.А. Машковцева

Москва 2012

УДК 553.495(100)

Т-22

**Т-22 Тарханов А.В., Бугриева Е.П. Крупнейшие урановые месторождения мира (под редакцией профессора Г.А.Машковцева).
Минеральное сырье, № 27, М.: ВИМС, 2012, 118 с.
ISBN 978-5-901837-81-8**

Кратко охарактеризованы крупнейшие месторождения урана с запасами более 50 тыс. т. Даны их промышленная и генетическая классификация, рассмотрены закономерности пространственного размещения, выделены эпохи рудообразования, приведены генетические модели и факторы, способствующие формированию крупных месторождений.

Оценена возможность нахождения крупных объектов в пределах известных провинций и новых урановорудных провинций с крупными месторождениями урана.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся прогнозированием и поисками рудных месторождений и решением проблем минерально-сырьевой базы атомной энергетики.

Журнал «Минеральное сырье» зарегистрирован
Госкомитетом РФ по печати 20.01.98 г. Рег. № 017140.
Учредитель Всероссийский научно-исследовательский
институт минерального сырья (ВИМС).
Главный редактор – профессор Г.А. Машковцев

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА	5
1.1. Промышленные типы месторождений	5
1.2. Генетические типы месторождений	7
1.3. Закономерности размещения и эпохи рудообразования	9
1.4. Генетические модели формирования крупных месторождений	13
1.4.1. Пластово-инфилтратационные месторождения	13
1.4.2. Органогенные ураноносные фосфориты	14
1.4.3. Позднемагматические месторождения	15
1.4.4. Гидротермальные месторождения	16
1.4.5. Полигенные месторождения	20
2. КРУПНЕЙШИЕ УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИРА. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАЗМЕРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И КАЧЕСТВО РУД	24
2.1. Месторождения типа «несогласия»	24
2.1.1. Провинция Атабаска. Рудный пояс Волластон	24
Месторождение Игл Поинт	26
Месторождение МакАртур	28
Месторождение Сигар-Лейк	29
Месторождение Ки-Лейк	31
2.1.2. Провинция Пайн-Крик. Рудный пояс Аллигейтор-Риверс	34
Месторождение Джабилука	35
Месторождение Рейндженер	37
2.2 Месторождения песчаникового типа	39
2.2.1. Притяньшаньская провинция	39
2.2.1.1. Чу-Сарысуйский район. Инкай-Мынкудукский рудный пояс	40
Месторождение Буденновское	42
Месторождение Инкай	44
Месторождение Мынкудук	45
2.2.1.2. Сырдарынский район. Харасан-Карамурунский рудный пояс	46
Месторождение Харасан	46
2.2.1.3. Кызылкумский район. Учкудукское рудное поле	47
Месторождение Учкудук	48
2.2.2. Провинция плато Колорадо. Рудный пояс Грантс	48
Месторождение Амброзия-Лейк	50
2.2.3. Мали-Нигерийская провинция. Ахаггарский рудный пояс	53
Месторождение Акаута	55
Месторождение Арлит	56
Месторождение Имоурарен	57
2.2.4. Чешская меловая плита. Стражский блок	58
Месторождения Гамп и Страж	58
2.3. Месторождения в комплексе гематитовых брекчий	60
2.3.1. Южно-Австралийская провинция	60
Месторождение Олимпик Дэм	61
2.4. Жильные и штокверковые месторождения	65
2.4.1. Провинция Чешского срединного массива и его обрамления	65
2.4.1.1. Пришибрамское рудное поле	66

<i>Месторождение Приибрам</i>	66
2.4.1.2. Рудное поле Шнееберг-Альберода	68
<i>Месторождение Нидеришлема-Альберода</i>	69
2.4.1.3. Роннебургское рудное поле	71
<i>Месторождение Шмирхай</i>	71
2.4.2. Монголо-Забайкальская провинция	74
2.4.2.1. Стрельцовское рудное поле	74
<i>Стрельцовское месторождение</i>	77
2.4.3. Провинция Кокчетавского срединного массива и его обрамления	82
2.4.3.1. Грачевское рудное поле	82
<i>Месторождение Косачиное</i>	83
2.5. Месторождения интрузивного типа	85
2.5.1. Провинция Юго-Западной Африки. Дамарский рудный пояс	86
<i>Месторождение Россинг</i>	86
2.6. Метасоматические месторождения	88
2.6.1. Центрально-Украинская провинция	88
2.6.1.1. Новоконстантиновское рудное поле	89
<i>Новоконстантиновское месторождение</i>	89
2.6.1.2. Кировоградская рудная зона	93
<i>Месторождение Центральное</i>	94
2.6.2. Алдан-Тимптонская провинция	96
2.6.2.1. Эльконский урановорудный район. Зоны Южная и Северная	96
<i>Месторождение Южное</i>	99
<i>Месторождение Северное</i>	103
2.6.3. Провинция Восточно-Бразильского щита	104
<i>Месторождение Итатая</i>	105
2.7. Ураноносные органогенные фосфориты	105
2.7.1. Прикаспийская провинция. Карагинский рудный район	105
<i>Месторождение Меловое</i>	107
2.8. Факторы, определяющие размеры месторождений и качество руд	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
ЛИТЕРАТУРА	116

Введение

Крупные урановые месторождения с запасами более 50 тыс. т играют значительную роль в минерально-сырьевой базе этого металла. Начиная с 40-х гг. прошлого века до настоящего времени, из них добыто 35% всего урана (800 тыс. т), с ними же связано 80 % всех оставшихся запасов (4,3 млн. т). В 2010 г. из 12 крупных месторождений получено 33 тыс. т урана (70% от текущей добычи). Последнее крупное месторождение открыто четверть века назад (МакАртур, 1988 г.). Отсюда понятен большой интерес к этим месторождениям. Возникает целый ряд вопросов. Чем они отличаются от мелких и средних месторождений того же типа? К каким геотектоническим элементам земной коры они приурочены и с какими эпохами рудообразования связаны? Исчерпана ли полная возможность выявления новых крупных месторождений? На все эти вопросы пытаются ответить авторы.

Крупные месторождения хорошо изучены, со многими из них удалось познакомиться на месте, в них наиболее выпукло проявлены черты геологического строения урановых месторождений, минералогические и геохимические особенности руд, по которым можно судить об условиях рудообразования. Крупные месторождения представляют все основные промышленные типы месторождений урана. Обобщение и анализ материалов по ним позволили уточнить геолого-генетическую классификацию и генетические модели формирования урановых месторождений, закономерности их пространственного размещения, что может быть использовано при геолого-прогнозных работах различного масштаба.

Авторы благодарны сотрудникам ФГУП «ВИМСа», без которых публикация книги была бы затруднена, и коллегам по работе за помощь в сборе и оформлении материалов, прежде всего – А.В. Заварзину и Г.В. Демкиной.

1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

1.1. Промышленные типы месторождений

Из множества существующих классификаций для целей данной работы наиболее приемлема классификация промышленных типов урановых месторождений МАГАТЭ, так как она признана всеми странами, направляющими в Агентство официальную информацию об урановых месторождениях [33, 58].

Выделяется 13 типов месторождений, расположенных в порядке экономической значимости:

1. Месторождения типа «несогласия».
2. Песчаниковые.
3. Комплекс гематитовых брекчий.
4. Кварц-галечные конгломераты.
5. Жильные.
6. Интрузивные.
7. Вулканические, связанные с кальдерами.
8. Метасоматические.
9. Поверхностные.
10. Брекчевые трубки.
11. Фосфориты.
12. Другие типы (метаморфические, известковые, угольные).
13. Породы с повышенным содержанием урана (черные сланцы, граниты, пегматиты).

Из 13 перечисленных типов реальное значение в производстве урана в настоящее время и в недалеком прошлом имеют 10 типов (табл. 1.1). Жильные и вулканические типы объединены в один тип – жильные и вулканические; брекчевые трубы не учтены из-за малой промышленной значимости, а из тринадцатого типа учтены только черные сланцы как вмещающие породы отработанных месторождений Роннебургского рудного поля.

Таблица 1.1

Промышленные типы урановых месторождений
(классификация МАГАТЭ)

№ п/п	Тип месторождения	Запасы на 01.2010 г.		Производство в 2010 г.		Крупные месторождения урана
		тыс.т U	%	т U	%	
1	Несогласия	560	8,3	13527	30,6	МакАтур, Сигар-Лейк, Ки-Лейк, Игл Поинт, Джабилука, Рейнджер
2	Песчаниковые	1500	22,3	15888	35,8	Буденновское, Инкай, Харасан, Учкудук, Арлит, Амброзия-Лейк, Мынкудук, Акаута, Имоурапен, Гамп+Страж
3	Гематитовые брекчии	1800	26,7	3341	7,5	Олимпик Дэм
4	Конгломераты	340	5,1	566	1,3	Витватерсrand, Эллиот-Лейк
5	Жильные и вулканические	1200	17,8	4700	10,6	Стрельцовское+Антей, Пршибрам, Нидершлема, Косачиное,
6	Интузивные	330	4,9	4109	9,3	Россинг
7	Метасоматические	700	10,4	1130	2,6	Южное, Северное, Центральное, Новоконстантиновское, Итатая
8	Поверхностные	300	4,5	1000	2,3	Йилларри, Лангер Хенрих
9	Черные сланцы	0	0	0	0	Шмирхау
10	Фосфориты	0	0	0	0	Меловое

В настоящее время наибольшее значение по производству урана имеют два первых типа, ранее же больше всего урана добывалось из конгломератов и жильных месторождений (типы 4 и 5). Самые крупные запасы урана сосредоточены в месторождениях четырех типов: песчаниковом, гематитовых брекчиях, жильных и метасоматических месторождениях. Из фосфоритов в последние годы уран не извлекается, но еще в 80-х гг. прошлого века один из подтипов – органогенные фосфориты – активно разрабатывался (м-ние Меловое в Казахстане).

Во всех десяти типах месторождений, перечисленных в табл. 1.1, имеются или имелись крупные месторождения урана. К ним условно отнесены месторождения с запасами более 50 тыс. т урана (табл. 1.2).

Месторождения ранжированы по количеству запасов урана. Исключение сделано только для четырех месторождений: Южное, Инкай, Буденновское и Харасан, положение которых в табл. 1.2 показано с учетом прогнозных ресурсов Р₁.

Как показывает опыт разведочных работ в Эльконском, Чу-Сарысуйском и Сырдарынском урановорудных районах, ресурсы этой категории надежно подтверждаются. Запасы всех зарубежных месторождений приведены по российской классификации (A+B+C₁+C₂) на момент окончания разведки без учета потерь при добыче и переработке руд. Следует отметить, что конкретные значения запасов в публикациях часто изменяются, и в табл. 1.2 приведены данные последних двух лет. Уранодобывающие компании указывают обычно запасы, подлежащие выемке по последнему проекту. Ресурсы во всех случаях указаны только по категории Р₁.

Самое большое количество крупных месторождений относится к песчаниковому типу (10), типу «несогласия» (6) и метасоматитам (5). В рудных полях Витватерсrand и Эллиот-

Лейк, суммарные запасы которых составляют 850 тыс.т, трудно выделить отдельные крупные месторождения, поэтому они в таблице не указаны и в данной работе не рассматриваются.

Таблица 1.2

Крупнейшие урановые месторождения мира

№ п/п	Месторождение	З тыс.т	P+3 тыс.т	Среднее содержание U, %	Пром- типы	Год открытия	Состояние
1	Олимпик Дэм	1800	2000	0,04	3	1975	Р
2	Южное	258	453	0,14	7	1961	П
3	Россинг+Ю.Россинг	330		0,0432	6	1928	Р
4	Инкай	130	250	0,05	2	1976	Р
5	Буденновское	45	300	0,088	2	1979	Р
6	МакАртур	192		21,0	1	1988	Р
7	Арлит	143		0,20	2	1971	Р
8	Харасан	59	164	0,11	2	1979	П
9	Джабилука	141		0,45	1	1971	П
10	Сигар-Лейк	132		15,0	1	1981	П
11	Имоурарен	120	180	0,11	2	1966	П
12	Амброзия-Лейк	120		0,22-0,85	2	1950	О
13	Рейндженер	115		0,24	1	1969	Р
14	Стрельцовское+Антей	106		0,21	5	1963	Р
15	Акаута	100		0,20	2	1967	Р
16	Косачиное	96		0,114	5	1973	П
17	Новоконстантиновское	94		0,14	7	1971	П
18	Нидершлема-Альберода	93		2 кг/м ²	5	1946	О
19	Итатая	76		0,10	7	1975	П
20	Ки-Лейк	74		2,0	1	1975	Р
21	Шмирхау	74		0,12	9	1952	О
22	Мынкудук	72		0,047	2	1973	Р
23	Гамп+Страж	70		0,2-0,5	2	1964	О
24	Меловое	65		0,05	10	1952	О
25	Северное	59	95	0,145	7	1961	П
26	Центральное	58		0,095	7	1969	Р
27	Пршибрам	55		2 кг/м ²	5	1948	О
28	Игл Поинт	51		1,54	1	1980	Р
29	Учкудук	51		0,05-0,1 – 0,2-0,5	2	1954	О

Примечание. З – запасы урана, Р+3 – ресурсы категории Р₁ вместе с запасами урана.

Промтипы – номера промтипов по табл. 1.1. Состояние: Р – отрабатывается, О – отработано, П – проектируется к отработке.

До 1980 г., открыто 26 из 29 крупных месторождений и только три – в период 1980-1988 гг.: в 1980 г. – Игл Поинт, в 1981 г. – Сигар-Лейк и в 1988 г. – МакАртур. Все три месторождения выявлены в провинции Атабаска (Канада). За последние 23 года не открыто ни одного крупного месторождения. Наиболее продуктивным был период 1960-1979 гг., когда за 20 лет было выявлено 19 крупных месторождений.

1.2. Генетические типы месторождений

Крупные урановые месторождения относятся к трем генетическим сериям: экзогенной, эндогенной и полигенной [24].

В экзогенной серии выделяются две генетические группы: седиментационно-диагенетические и инфильтрационные, которые в свою очередь подразделяются на

генетические типы. Крупные месторождения урана встречаются в каждой из этих групп. В первой – органогенные фосфориты (месторождение Меловое), во второй – пластово-инфилтратационные месторождения в артезианских бассейнах (Буденновское, Инкай, Харасан, Учкудук, Амброзия-Лейк, Мынкудук, Акаута, Арлит, Имоуарен, Гамр+Страж) и грунтово-инфилтратационные – в руслах временных потоков. В последних пока не встречено месторождений с запасами более 50 тыс. т, но известны месторождения с запасами 30-40 тыс. т (Йиллари, Лангер Хенрих). К первой группе инфильтрационных месторождений относятся промышленные месторождения «песчаникового» типа, а ко второй – «поверхностного» типа.

В эндогенной серии представляет интерес группа крупных месторождений урана, связанных с гранитоидным магматизмом (группа В [24]), которая подразделяется на два класса: позднемагматический (месторождение Россинг) и магматогенный гидротермальный. Последний класс самый многочисленный, по разным генетическим признакам в его составе разные авторы выделяют десятки генетических типов месторождений в зависимости от определяющих признаков. Например, к таким признакам могут относиться состав вмещающих пород, геотектоническая позиция месторождений, минеральный состав руд, ассоциация полезных компонентов. При этом одно и то же месторождение может быть отнесено к разным типам, так как отдельные рудные тела могут залегать в разных по составу породах и иметь различный минеральный состав.

Крупные гидротермальные месторождения, с нашей точки зрения, четко укладываются в три генетических типа: жильный, штокверковый и метасоматический.

Метасоматический тип имеет строгую геотектоническую привязку. Метасоматические месторождения, руда которых представлена почти целиком новообразованными минералами с незначительным количеством реликтовых минералов исходных пород, локализованы в зонах тектоно-магматической активизации (ТМА) древних докембрийских щитов. Телаrudовмещающихметасоматитовхарактеризуются крупными размерами. Их длина по простиранию достигает многих километров, по падению – более 2 км, мощность – от первых десятков до первых сотен метров. Оруденение в основном вкрашенное и прожилково-вкрашенное. Пока известно три эпохи проявления ТМА древних щитов: среднепротерозойская в Украинском щите (м-ния Новоконстантиновское, Центральное), позднепротерозойская в Восточно-Бразильском щите (м-ние Итатая) и мезозойская в Алданском щите (м-ния Южное, Северное).

Крупные гидротермальные жильные месторождения, образующиеся путем выполнения открытых полостей, представлены многими десятками разновеликих и разноориентированных жил. Длина по простиранию некоторых наиболее крупных жил достигает нескольких километров, по падению – 1-2 км, мощность до 10 м и более. Урановые минералы (настурит, уринит, коффинит) слагают линзы, гнезда и слойки внутри жил среди жильных минералов (кварц, карбонат и др.) Зальбанды жил обычно четкие, околожильные изменения маломощные. Известно два крупных месторождения этого типа – Пришибрам и Нидершлема-Альберода. Оба они приурочены к срединному массиву. Жильные месторождения меньшего размера известны в проторифтах, выполненных вулканитами, на выступах докембрийских пород (Большое Медвежье озеро, Шинколобве).

Гидротермальные штокверковые месторождения пользуются самым широким распространением. Они встречаются во всех геотектонических элементах и почти во все эпохи рудообразования. Главная их черта – приуроченность к зонам разломов, сложенных брекчиями, милонитами, интенсивно трещиноватыми породами. Урановые минералы как выполняют мелкие открытые полости, так и образуют вкрашенность в окружающих метасоматически измененных породах. Штокверки занимают промежуточное положение между классическими жилами и ураноносными метасоматитами. Новообразованные минералы находятся в различных количественных соотношениях с минералами исходных пород. Для штокверков характерна причудливая форма и различные элементы залегания – от пологого стратiformного до крутого резко секущего.

Крупные гидротермальные штокверковые месторождения (Стрельцовское, Косачиное) приурочены к вулкано-тектоническим депрессиям в срединных массивах. Месторождение Шмирхай залегает также в депрессионной структуре, сложенной нижнепалеозойскими породами.

К полигенной серии относятся месторождения урана, образующиеся при смешении ураноносных гидротермальных растворов с грунтовыми водами и рассолами. Сюда относятся месторождения типа «несогласия» (МакАртур, Сигар-Лейк, Ки-Лейк, Игл Поинт, Джабилука, Рейнджер) и медно-урановое месторождение в гематитовых брекчиях (Олимпик Дэм).

1.3. Закономерности размещения и эпохи рудообразования

Урановые месторождения в земной коре распределены весьма неравномерно. Скопления их занимают незначительную площадь континентов. Такие скопления, приуроченные к крупным геотектоническим элементам земной коры или их частям, принято называть *урановыми провинциями*. Известно семнадцать провинций с крупными месторождениями урана (табл. 1.3). Подавляющая часть месторождений приурочена к докембрийским щитам и более мелким выступам докембрийского фундамента, а также к перекрывающим их платформенным и квазиплатформенным чехлам. Месторождения урана не установлены лишь в архейских кратонах, слагающих ядра древних платформ.

Таблица 1.3

Геотектоническая позиция крупных месторождений урана

Геотектонические элементы земной коры		Урановые провинции (районы)	Крупные месторождения
1. Осадочные бассейны	1.1. На срединных массивах	Колорадо	Амброзия-Лейк
		Чешско-Рудногорская	Гамр+Страж
	1.2. На молодых платформах	Притяньшаньская	Инкай, Буденновское, Мынкудуку, Харасан, Учкудук
		Мали-Нигерийская	Акаута, Арлит, Имоуарен
		Прикаспийская	Меловое
2. Срединные массивы фанерозойских складчатых поясов и их обрамления	Северо-Казахстанская (Кокчетавская)	Косачиное	
			Нидершлема-Альберода, Пршибрам, Шмирхай
3. Средне-позднепротерозойские прогибы на древних щитах	Атабаска	МакАртур, Сигар-Лейк, Ки-Лейк, Игл Поинт	
	Пайн-Крик		Джабилука, Рейнджер
4. Проторифты в областях позднепротерозойской складчатости	Южно-Австралийская	Олимпик Дэм	
5. Гранитоидные ядра позднепротерозойских складчатых поясов	Дамарская	Россинг	
6. Области ТМА	6.1. Древних щитов	Центрально-Украинская	Новоконстантиновское, Центральное
		Восточно-Бразильская	Итатая
		Центрально-Алданская (Алдан-Тимптонская)	Южное, Северное
	6.2. Складчатых поясов	Монголо-Забайкальская	Стрельцовское
7. Раннепротерозойские эпикратонные прогибы	Трансвааль (Витватерсrand)		
		Гуронская (Эллиот-Лейк)	

Наиболее продуктивны наложенные депрессионные структуры и зоны тектономагматической активизации докембрийских щитов, а также чехлы срединных массивов и молодых (фанерозойских) платформ.

Главнейшей чертой урановорудных провинций, по которой все они в то или иное время были выявлены, является высокая «зараженность» ураном. Все они на мелкомасштабных (1:500000, 1:1000000) аэрогаммаспектрометрических картах выделяются яркими аномалиями урана. По поводу природы этих аномалий мнения специалистов расходятся. Одни считают, что повышенный геохимический фон урана повсеместно связан с проявлением специализированных уранконцентрирующих процессов, другие, в том числе и авторы данной работы, полагают, что первопричиной является изначальная неоднородность мантии Земли, выраженная относительно локальными скоплениями урана на разных ее уровнях. Это объясняет различие содержаний урана в однотипных специализированных на уран магматических и метасоматических породах в разных частях континентов. Например, пространственно, а, возможно, и генетически связанные с ураном калиевые граниты в пределах провинций могут быть обогащены ураном, а за их пределами в соседних регионах такое обогащение не отмечается. В других урановых провинциях те же калиевые граниты, вмещающие урановые месторождения, характеризуются кларковыми содержаниями урана, а формирующиеся на больших глубинах в зонах ТМА субщелочные породы и связанные с ними метасоматиты несут высокие концентрации урана вплоть до промышленных.

В любом случае, высокий геохимический фон, наличие большого количества аномалий и рудопроявлений являются самым главным критерием для выявления урановых провинций и районов.

Урановорудные районы представляют собой части провинций, в которых обычно однотипные месторождения урана сосредоточены на локальных площадях в пределах рудоконтролируемых структур. В зависимости от форм и размеров таких скоплений выделяются рудные узлы, зоны и рудные поля. В разных генетических типах предпочтение отдается одному или двум из этих элементов. Их площадная продуктивность колеблется в широких пределах (табл. 1.4). Следует отметить, что приведенные значения площадной продуктивности зависят от способа оконтуривания рудных площадей и выбора объектов, объединяемых в одну площадь. Например, месторождения в зонах Мидвест-МакАртур и Аллигейтер-Риверс оконтурены чисто формально. Эти зоны не являются рудоконтролирующими, в их пределах месторождения локализуются в поперечных сквозных разломах на пересечении ими плоскостей структурно-стратиграфических несогласий. Расстояния между месторождениями составляют десятки километров, разделены они пустыми породами, поэтому значение продуктивности в этих зонах невысокое, тогда как степень концентрации урана в каждом месторождении очень высокая, примерно такая же, как в месторождении Олимпик Дэм.

В табл. 1.4 вместо месторождения Итатая выделено рудное поле Лагоа Реал, хотя само месторождение не относится к крупным. По месторождению Итатая нет данных, позволяющих выделить и измерить рудоконтролирующую структуру более высокого порядка. В то же время оба месторождения расположены в зонах ТМА Восточно-Бразильского щита и относятся к одному типу метасоматических месторождений.

Значение площадной продуктивности отражает степень концентрации урана и, по нашему мнению, свидетельствует о мощности источника гидротермальных месторождений, а для полигенных месторождений, кроме того, и о контрастности структурно-геохимических барьеров. Самые высокие значения продуктивности характерны для гидротермальных жильных, штокверковых и метасоматических месторождений.

Анализ изотопно-возрастных данных по всем крупным месторождениям урана [11, 34] показывает, что они были сформированы или существенно преобразованы в течение относительно узких интервалов времени, укладывающихся в ошибку определения

возраста радиологическими методами. Эти эпохи рудообразования совпадают с глобальными геологическими событиями. Всего выделяется 11 эпох уранового рудообразования (табл. 1.5). Наиболее продуктивными являются гренвильская и раннеальпийская эпохи. В первую сформировались месторождения типа «несогласия», а во вторую – самые крупные месторождения песчаникового типа.

Таблица 1.4
Крупнейшие урановорудные пояса, зоны, рудные узлы, поля

№ п/п	Рудные объекты	3+P, т U	S, км ²	Продуктивность, т/км ²	Генетический (промышленный) тип
1	Месторождение Олимпик Дэм	2 000 000	4,6	434 783	Полигенный (гематитовые брекчии)
2	Шнееберг-Альберода – рудное поле	97 000	18	5 389	
3	Пришибрамское рудное поле	55 000	20	2 750	
4	Стрельцовское рудное поле	300 000	140	2 140	Гидротермальный (жильно-штокверковый)
5	Грачевское рудное поле	120 000	100	1 200	
6	Роннебургское рудное поле	200 000	100	2 000	
7	Зоны Южная + Северная	550 000	80	6 875	
8	Новоконстантиновское рудное поле	170 000	40	4 250	Гидротермальный (метасоматический)
9	Кировоградская зона	150 000	50	3 000	
10	Лагоа-Реал – рудное поле	100 000	80	1 250	
11	Зона Мидвест-МакАртур	345 000	1 000	345	Полигенный (несогласия)
12	Зона Аллигейтор-Риверс	270 000	500	540	
13	Пояс Грантс	800 000	2 400	333	
14	Инкай-Мынкудукский пояс	650 000	2 500	260	
15	Харасан-Карамурунский пояс	250 000	1 000	250	Пластово- инфилтратационный (песчаниковый)
16	Ахаггарский пояс	400 000	1 500	267	
17	Учкудукское рудное поле	90 000	100	900	
18	Стражский блок	80 000	200	400	
19	Дамарский пояс	450 000	3 600	125	Позднемагматический (интрузивный)
20	Пояс Витватерсrand	550 000	4 000	137	Древние россыпи (конгломератовый)
21	Пояс Эллиот-Лейк	300 000	2 000	150	
22	Карагинское рудное поле	100 000	90	1 100	Седиментационно- диагенетический (фосфориты)

Примечание: 3+P – сумма запасов и ресурсов Р₁; S – площадь рудного поля, рудной зоны, рудного пояса; продуктивность – частное от деления суммы запасов и ресурсов в т U на площадь в км²

Таблица 1.5

Эпохи формирования крупных месторождений урана

№ п/п	Эпоха	Месторождение	Возраст урановых руд, млн. лет		
			реликтовые	основная масса	переотло- женные
1	Трансвааль-Гуронская	Рудные районы Витватерсrand, Эллиот-Лейк	3100±100 2400±100	2100±100	1100±50
2	Гудзонская (Карельская)	Новоконстантиновское Центральное		1750±50	350±50
3	Эльсонская (Готская)	Олимпик Дэм		1450±50	
4	Гренвильская	МакАртур Сигар-Лейк Ки-Лейк Игл Поинт Джабилука Рейнджер	1700 1400 1500	1000±100	300±50
5	Дамарская	Россинг Итатая		500±50	
6	Каледонская	Косачиное		360±20	
7	Герцинская (Варисская)	Пршибрам Нидершлема-Альберода Шмирхай		270±20	
8	Раннекиммерийская	Арлит Акаута		200±10	
9	Позднекиммерийская (Невадская)	Южное Северное Стрельцовское Имоурапен		140±10	
10	Ларамийская	Амброзия Лейк	140±10	60±5	20±5
11	Раннеальпийская	Инкай Гамр Буденновское Харасан Мынкудук Учкудук Меловое	30±5	20±5	5-0

Эволюция уранового рудообразования подчиняется общей закономерности направленного необратимого и циклического развития земной коры. С увеличением массы, мощности и гетерогенности коры увеличивается число металлов, образующих промышленные месторождения, число генетических и промышленных типов этих месторождений. Месторождения урана докембрийского возраста отличаются от фанерозойских тесной парагенетической связью урана с медью, золотом, кобальтом, никелем и отсутствием инфильтрационных и незначительными размерами гидротермальных жильных и штокверковых месторождений. Самые крупные из месторождений этого типа формируются в каледонскую и герцинскую эпохи.

Пластово-инфилтратационные месторождения урана характерны для поздних эпох. Появляются они в конце палеозоя и достигают массового развития в раннеальпийскую эпоху (моложе 20 млн. лет).

В ходе геологической истории Земли формируются все более многочисленные и разнообразные по минеральному составу месторождения, но только при сочетании

определенных условий, которые попытаемся рассмотреть ниже, возникают крупные месторождения урана.

1.4. Генетические модели формирования крупных месторождений

Для всех типов месторождений выделяются региональные и локальные факторы рудообразования. Первые носят описательный характер, определяя закономерности размещения месторождений в определенных геотектонических элементах земной коры, вторые могут иметь количественное выражение или, по меньшей мере, качественную оценку.

Количественная оценка локальных факторов рудообразования разработана только для хорошо изученных экзогенных инфильтрационных месторождений [13].

Для определения массы урана (M), накопленной на выклинивании зон пластового окисления (ЗПО), согласно общей схеме экзогенно-эпигенетического рудообразования предложена формула:

$$M = C_o \varepsilon V t L h, \text{ где}$$

C_o – содержание урана в исходных растворах,

ε – степень контрастности восстановительного барьера,

$$\varepsilon = 1 - C_b / C_o, \text{ где}$$

C_b – остаточные концентрации в растворе,

V – скорость фильтрации вод, равная $K_f J$, где

K_f – коэффициент фильтрации,

J – пьезометрический уклон,

t – длительность рудообразования;

L – протяженность фронта выклинивания,

h – суммарная мощность рудовмещающих горизонтов.

Все эти факторы можно использовать для оценки потенциальных ресурсов не только экзогенных, но и эндогенных месторождений. Для всех рассматриваемых типов крупных месторождений урана существует пять факторов рудообразования, определяющих размеры месторождений и качество руд:

1. Качество источника рудообразующих растворов (для экзогенных месторождений – наличие пород, обогащенных легкорасторвимым подвижным ураном, в областях питания и транзита; для эндогенных – наличие на глубине в мантии или земной коре участков, обогащенных ураном, повышенное содержание урана в ассоциирующих с рудой магматических породах).

2. Проницаемость и емкость рудоподводящих каналов или пластов рудовмещающих пород.

3. Контрастность структурно-геохимических барьеров.

4. Объем литолого-структурных и геохимических «ловушек», или емкость рудовмещающих структур.

5. Длительность рудообразования.

1.4.1. Пластово-инфилтратационные месторождения

Месторождения располагаются в крупных осадочных бассейнах, заложенных на фундаменте молодых (последокембрийских) платформ или срединных массивов. Обширные синеклизы, предгорные прогибы и грабен-синклинали, примыкающие к водораздельным горным сооружениям, выполнены терригенными континентальными и прибрежно-морскими формациями. Рудовмещающие толщи состоят из чередующихся водоупорных и водоносных горизонтов. Последние отличаются высокой поровой проницаемостью. На момент рудообразования в прогибах формируются артезианские бассейны с гидрогеологическими массивами и очагами разгрузки. Гидравлический напор создается разностью высотных отметок областей питания и очагов разгрузки грунтовых вод.

Пути движения кислородных вод охватывают области эрозии гидрологических массивов и выходящих на дневную поверхность водоносных горизонтов, проницаемые горизонты осадочных бассейнов и очаги разгрузки. Кислородные воды на путях фильтрации выщелачивают уран из пород выступов фундамента и проницаемых горизонтов. На глубине при резкой смене окислительных условий на восстановительные происходит рудоотложение. Урановорудные залежи обычно имеют форму роллов и происходят рудоотложение. Урановорудные залежи обычно имеют форму роллов и рудоносные участки на выклинивании ЗПО называются *ролловыми фронтами* [13].

Пластово-инфилтратационные месторождения формируются при определенных климатических условиях. Благоприятен климат умеренно-теплых пустынь и полупустынь с годовыми осадками 150-200 мм и суровыми малоснежными зимами, что препятствует сильному разбавлению растворов, а скучная растительность не препятствует проникновению кислорода в подземные воды.

По изложенной генетической схеме самыми важными рудообразующими факторами, определяющими размеры месторождений и качество руд, явились наличие специализированных пород на уран в областях питания и путях миграции растворов, контрастность восстановительного барьера, проницаемость рудовмещающих пород, суммарная мощность рудовмещающих горизонтов, протяженность ЗПО, время рудообразования.

Именно для пластово-инфилтратационных месторождений особое значение имеет контрастность восстановительного барьера. Смена окислительных условий на восстановительные обусловлена наличием в рудовмещающих породах органического вещества и сульфидов железа, а также взаимодействием инфильтрационных окислительных потоков с восходящими термальными восстановительными водами. Не исключено, что с гидротермальными растворами могла привноситься дополнительная часть урана, но в любом случае на участках смешения инфильтрационных и гидротермальных вод образующиеся относительно богатые руды приобретают черты полигенных месторождений.

1.4.2. Органогенные ураноносные фосфориты

Седиментационно-диагенетические скопления урана пользуются в мире широчайшим распространением, в частности к ним относятся морские и континентальные фосфориты, общие ресурсы которых достигают 10 млн. т [58]. Однако промышленные урановые месторождения, в том числе одно крупное (Меловое), известны лишь в связи с органогенными фосфоритами, представленными ураноносными остатками ихтиофауны. Все известные месторождения этого типа сосредоточены в палеогеновых отложениях Прикаспийского региона. Месторождения характеризуются некоторыми геологическими особенностями, определяющими условия их формирования.

1. Скопления ураноносного костного детрита располагаются на материковом склоне шельфа палеогенового морского бассейна вдали от береговой линии, о чем свидетельствует отсутствие грубоэзернистых осадков.

2. На ограниченной площади морского бассейна в довольно узкий интервал времени, соответствующий времени формирования маломощного горизонта одной из подсвит палеогена, как бы внезапно возникают условия, сначала приводящие к бурному развитию питательного планктона, привлекающего огромные косяки рыб, а затем к их массовой гибели. Такое явление возможно, по-видимому, при поступлении в бассейн во время вспышки вулканической деятельности горячих флюидов, способствующих нагреву воды и развитию планктона, а позже при достижении предельных концентраций вредных веществ – к гибели фауны.

3. Гидротермальные флюиды могли создавать аномально высокие концентрации урана, редкоземельных элементов и других металлов в морской воде. Иных источников урана, например, выходящих на поверхность в момент рудообразования специализированных на уран гранитов или вулканитов, в регионе не известно. Вся

рудовмещающая толща («рыбная» подсвита) характеризуется высоким содержанием урана (0,005%), редких земель (0,02%), кобальта (0,005%) и молибдена (0,004%).

4. Уран и редкие земли сорбировались, по-видимому, свежим пористым костным детритом, а при диагенезе при кристаллизации фосфатов калия захватывались кристаллической решеткой франколита, входили в состав уранил-фосфатно-калиевых комплексов, а уран, кроме того, отмечался в виде тонкодисперсных оксидов. Содержание урана в руде всего 0,05%, сумма РЗЭ 0,2%, а в костном концентрате 0,2% и до 1% соответственно.

5. При формировании промышленных месторождений, а тем более крупных, необходимо концентрирование костного детрита в достаточно мощные залежи. Такое концентрирование происходит на склонах рудовмещающих впадин под влиянием постоянных сильных подводных течений. На склонах образуются компактные мощные залежи, расслаивающиеся вниз по падению безрудными глинами. Природный процесс концентрирования близок к технологическому процессу обогащения руд, заключающемуся в отмыке глинистого материала и получении детритового концентрата на специальных промприборах.

Таким образом, крупные урановые месторождения органогенных фосфоритов формировались при редком совпадении следующих явлений:

- на удаленных от берега участках морского бассейна с медленным накоплением глинистого материала происходит бурное размножение, а затем внезапная массовая гибель ихтиофауны.
- привнос в морской бассейн повышенных концентраций урана и РЗЭ гидротермальными флюидами, ответственными за это явление, синхронно с природной катастрофой.
- перемыв глинистых отложений подводными течениями на склонах рудовмещающих впадин, приводящий к концентрированию на большой площади мощных залежей, обогащенных ураноносным рыбным детритом.

1.4.3. Позднемагматические месторождения

Месторождения этого типа распространены в мире чрезвычайно широко, однако представлены единственным крупным месторождением Россинг. Редкometалльные лейкократовые пегматоидные граниты, названные А.А. Беусом «апограниты», приурочены к интракратонным полициклическим складчатым поясам, образующимся на гранитизированном и метаморфизованном основании [5]. Полицикличность выражается в неоднократной смене гранитизации и осадконакопления. Сначала возникли древние граниты с повышенной радиоактивностью, источником которых служили магматические очаги в верхней мантии. При разрушении этих гранитов в определенных условиях накапливались обогащенные ураном осадочные породы, ассимиляция которых новыми порциями гранитной магмы приводила к еще большему обогащению ураном выкристаллизованных из нее гранитов. При повторении нескольких таких циклов происходит ступенчатое накопление урана и формирование крупных месторождений [34].

Все провинции с постмагматическими месторождениями характеризуются обширными торий-урановыми аномалиями, обусловленными, по нашему мнению, первичными скоплениями радиоактивных элементов в мантии на уровне возникновения гранитпродуцирующих магматических очагов. Аналогичные граниты за пределами таких провинций содержат кларковые концентрации урана.

В Намибии торий-урановые аномалии охватывают регион площадью 25000 км² в пределах южной части Дамаро-Катангского складчатого пояса. В центральной части этого региона в северо-восточном направлении проходит Дамарский рудный пояс с несколькими месторождениями урана, в том числе месторождением Россинг. За пределами региона лейкократовые граниты не отличаются повышенным содержанием урана.

В провинции Атабаска, выделяющейся на фоне Канадского щита крупнейшей урановой аномалией, пегматоидные граниты обогащены ураном. На севере и на юге провинции известно несколько месторождений с общими ресурсами урана около 100 млн. т (Шарлебуа-Лейк, Дадридж-Лейк и др.) За пределами провинции аналогичные пегматоидные граниты характеризуются кларковыми содержаниями урана.

Ураноносные апограниты слагают апикальные части и апофизы в куполовидных выступах гранитных интрузивных массивов. В результате тектонической нарушенности такие выступы являются областями пониженного давления и вследствие этого – коллекторами летучих компонентов, поступающих из магматических очагов. Граниты эти – метасоматические породы, образованные по нормальным биотитовым гранитам, состоящим из примерно равных количеств микроклина, плагиоклаза и кварца, тогда как апограниты сложены в основном кварцем и полевым шпатом, представленным амфиболом и микроклин-пертитом. Процесс микроклинизации широко развит на постмагматическом этапе становления гранитоидных комплексов. Крупные кристаллы микроклин-пертита замещают плагиоклаз и приводят к собирательной перекристаллизации кварца и образованию пегматоидных структур.

Ураноносные аляскитовые граниты – разнозернистые породы от аплитов до пегматитов, состоящие из дымчатого кварца, розового микроклина, микроклин-пертита и неравномерно распределенного биотита. От обычных гранитов они отличаются наличием флюорита, карбонатов, турмалина, топаза и широким набором аксессорных минералов (апатит, циркон, монацит, сфен, самарсит, магнетит, гематит, ильменит, пирит, халькопирит, пирротин и молибденит).

Уранинит образует вкрапленность в кварце, полевом шпата и биотите. В состав уранинита входит торий и редкоземельные элементы. Он ассоциируется со сфеном, апатитом, флюоритом, оксидом железа и титана. Уран концентрировался в остаточном расплаве и переносился высокотемпературными флюидами в апикальные части гранитных интрузивных массивов. Интересно, что уран в виде уранинита образует вкрапленность не только в гранитах, но и на участках полосчатых мигматитов и во вмещающих гнейсах, испытавших контактное воздействие гранитов.

Продуктивность урана в поясах с позднемагматическими месторождениями невысокая (125 т/км^2), что объясняется большими площадями таких поясов с относительно низкими содержаниями урана (первые сотые %).

Провинции с крупными позднемагматическими месторождениями урана проявляются обширными радиоактивными аномалиями торий-урановой природы, приуроченными к гранитоидным массивам, полям гранитизации, жилам пегматитов и аплитов, и локальными урановыми аномалиями в перекрывающих рыхлых отложениях чехла. Ураноносные гранитоидные интрузии образуются на завершающей стадии формирования позднепротерозойских или раннепротерозойских складчатых поясов и служат источником экзогенных концентраций урана.

Наиболее благоприятны зоны перемежаемости крупных пластин и линз лейкократовых гранитов с вмещающими гнейсами и сланцами.

1.4.4. Гидротермальные месторождения

Класс магматогенных гидротермальных месторождений наиболее представительный. К нему относятся многие сотни разновеликих месторождений урана. По поводу генезиса гидротермальных месторождений опубликованы тысячи работ. В самом общем виде можно выделить основные атрибуты гидротермального рудообразования:

- источник растворов и урана,
- пути движения растворов,
- область рудоотложения.

Для трех генетических типов гидротермальных месторождений, рассматриваемых в данной работе (метасоматического, жильного и штокверкового), вышеперечисленные факторы имеют свои специфические особенности.

1. Сведения об источнике в основном гипотетические. Они вызывают наибольшие споры. Для целей данной работы – выявление факторов, определяющих размеры месторождений – главное значение имеют мощность источника, глубина формирования магматического очага и его расположение относительно обогащенных ураном участков мантии.

О мощности источника, по нашему мнению, можно судить по результатам его проявления в пределах рудных зон и рудных полей, что отражается в значениях продуктивности: отношении запасов и ресурсов урана к рудной площади (см. табл. 1.4). Самая высокая продуктивность, не считая уникального полигенного месторождения Олимпик Дэм, о котором речь пойдет ниже, наблюдается в метасоматических (4-7 тыс. т/км²) и жильных (3-5 тыс. т/км²) месторождениях. В крупных штокверковых месторождениях продуктивность составляет 1,1-1,9 тыс. т/км², что значительно выше, чем в пластово-инфилтратационных экзогенных месторождениях.

Сфера, обогащенная ураном, могут располагаться на разных высотных уровнях в мантии или земной коре. Предполагается, что жильные и штокверковые месторождения, связанные с гранитной магмой, образуются в верхней мантии или даже в земной коре, тогда как метасоматические месторождения формируются в зонах тектоно-магматической активизации, зарождающейся на более глубоком уровне мантии, о чем свидетельствует проявленность в зонах ТМА триады основных, кислых и щелочных пород.

Крупные метасоматические месторождения Центрально-Украинской провинции и Эльконского урановорудного района локализованы в пределах ранее образованных раннепротерозойских гранитов и гранитоидов, характеризуемых кларковыми и даже нижекларковыми содержаниями урана. Близодновременные и генетически связанные с ураноносными метасоматитами граниты и субщелочные породы несут концентрации урана на порядок выше кларков. Это можно объяснить тем, что ураном обогащены нижние горизонты мантии на уровне формирования магматических очагов в зонах ТМА.

В провинциях с крупными жильными и штокверковыми месторождениями ураном обогащены верхние горизонты мантии или низы земной коры, о чем свидетельствует высокая зараженность ураном гранитов и вулканитов, ассоциирующихся с урановым оруднением.

Многие геологи разделяют точку зрения о том, что источником урана служат магматические и осадочные породы земной коры, из которых уран извлекается глубинными гидротермальными растворами. Возможно, что такое явление имеет место, но, с нашей точки зрения, объем обогащенных ураном проникаемых пород внутри рудоподводящих разломов недостаточен для обеспечения ураном процесса формирования крупных месторождений. Боковые породы (граниты, гнейсы, мигматиты) слабопроницаемы и не несут следов изменений даже на небольших расстояниях от разломов.

Более вероятно, что уран переносился гидротермальными растворами от общего магматического очага до области рудоотложения. Но при этом возникает вопрос, в каком состоянии переносился уран – в шестивалентном или четырехвалентном? Поведение урана в гидротермальном растворе при температурах ниже 250°C хорошо изучено [8, 22, 30]. Доказано, что уран переносится растворами в виде уранил-карбонатных комплексов и при их разрушении в области рудоотложения восстанавливается до четырехвалентного, образуя оксиды урана (настуртан или уранинит). Однако при высоких температурах (более 300°C) и в сильно восстановительной обстановке соединения шестивалентного урана неустойчивы и не могут переноситься гидротермальными растворами. Это противоречие может быть объяснено предположением, что в надкритических флюидах и высокотемпературных растворах уран переносится в четырехвалентном состоянии в

комплексных соединениях с фтором или хлором, а вблизи поверхности он окисляется и образует уранил-карбонатные комплексы, которые, в свою очередь, в локальной восстановительной обстановке распадаются, и уран восстанавливается до четырехвалентного состояния. Эта идея подтверждается вхождением урана в различные ассоциации химических элементов, характерных для высоко- и низкотемпературных образований.

В гранитах, пегматитах и связанных с ними уранинитовых жилах уран вместе с торием, редкоземельными элементами, tantalом, ниобием, цирконием и вольфрамом входит в состав акцессорных минералов (ураноторит, циртолит, ортит, монацит, циркон, колумбит, самарсит, апатит, сфен, флюорит). В ранних высокотемпературных минералах метасоматитов уран вместе с торием и редкими землями концентрируется во фтор-апатите и цирконе. Уранинит из метасоматитов может содержать до 10 % иттрия, а браннерит – десятые доли % ниobia, вольфрама и ванадия.

Уранинит и настуран в средне- и низкотемпературных месторождениях не содержит примеси тория, редкоземельных и других вышеперечисленных элементов и ассоциируются обычно с карбонатами, сульфидами и сульфосолями Cu, Pb, Zn, Bi, Co, Ni и Ag.

2. От источника до области рудоотложения ураноносные растворы поступают по хорошо проницаемым глубинным разломам.

Жильные гидротермальные месторождения контролируются оперяющими региональные разломы тектоническими разрывными нарушениями, формирующими в условиях пульсационного растяжения. Такие условия возникают в кровле крупных гранитных массивов в пределах ореолов контактово-метасоматических изменений. Периодически приоткрывающиеся полости трещин отрыва заполняются минеральным веществом, кристаллизующимся от зальбандов трещин внутрь жил, образуя крустикационные текстуры. О длительности рудообразования свидетельствует многостадийность процесса минерализации, неоднократные изменения физико-химических условий, состава растворов и минерального состава жил.

В результате формируются пучки сложных по составу жил разной мощности и протяженности, среди которых на крупных месторождениях имеется несколько жил большой протяженности по простиранию и на глубину (многие сотни метров), и мощностью до 10 м и более. Они могут вмещать крупные линзы, сложенные почти чистым настураном, с запасами по несколько сотен тонн.

Штокверковые гидротермальные месторождения также контролируются тектоническими нарушениями, оперяющими рудоподводящие региональные разломы. Но эти нарушения (надвиги, сбросы, сбросо- и взбрососдвиги) образуются в условиях сжатия. Высокопроницаемые зоны брекчирования, смятия, повышенной трещиноватости формируются в изгиба, узлах сопряжения и пересечения рудоконтролирующих тектонических нарушений, а также в их сопряжениях со складчатыми нарушениями. В осадочно-вулканогенных прогибах зоны повышенной проницаемости могут совпадать с проницаемыми горизонтами вулканитов или осадочных пород, с тектоническими послойными срывами. Все эти разнообразные по форме, условиям залегания и размерам участки проницаемых пород, пространственно связанные с рудоподводящими каналами, принято называть «структурными ловушками». Их количество и общий объем в пределах месторождения определяют запасы урана. Крупные месторождения представлены обычно десятком и более таких «ловушек», вмещающих урановорудные залежи. Обычно они разобщены, и каждую из них можно рассматривать в качестве самостоятельного месторождения.

Метасоматические гидротермальные месторождения локализуются непосредственно внутри рудоподводящих глубинных разломов, представленных обычно несколькими субпараллельными швами. Разломы имеют древнее раннепротерозойское заложение и проявлены пластическими деформациями пород, превращенных в

blastokataklazity и blastomilonity, по химическому и минеральному составу не отличающиеся от исходных руд. Интересно, что в эпоху ТМА древних щитов, с которой связаны гидротермальные ураноносные метасоматиты, т.е. спустя многие сотни миллионов лет, план деформации не меняется, и молодые разломы, выраженные хрупкими деформациями, сохраняют ориентировку древних. В лежачем и висячем боках крупных швов глубинных разломов в узлах сопряжения и пересечения «молодых» тектонических нарушений формируются зоны и участки объемного катаракла и брекчирования, по которым и развиваются новообразованные минералы, почти нацело замещающие минералы исходных пород.

Полнопроявленные метасоматиты образуются в зонах оптимальной проницаемости. В высокопроницаемых пористых брекчиях растворы перемещаются слишком быстро и не успевают прореагировать с вмещающими породами. В них отмечается вынос кремнезема с образованием пор и открытых полостей, которые фиксируются на глубинах до 3 км.

3. Ураноносные гидротермальные растворы поступают в приповерхностную область рудоотложения пульсационно. Их химический состав периодически изменяется. Принято выделять два этапа гидротермального процесса: ранний щелочной высокотемпературный (250-300°C) и поздний кислотный средне-низкотемпературный (ниже 250°C) [31].

Первый проявлен главным образом в метасоматических и частично в штокверковых, а второй – в жильных и штокверковых месторождениях.

В метасоматических месторождениях причиной разрушения галоидных комплексов и отложения минералов урана служит понижение температуры и изменение щелочности раствора за счет взаимодействия с вмещающими породами с образованием громадных масс карбонатно-натриевых или карбонатно-калиевых метасоматитов. На первой стадии уран вместе с торием и РЗЭ входит в состав апатита, циркона (малакона), давидита, сфена, но основная часть урана выпадает во вторую стадию из остаточных растворов, образуя вкрапленность уранинита, браннерита, коффинита в мелких порах и трещинах внутри метасоматитов. Те же процессы, но в значительно меньшей мере, проявлены и в штокверковых месторождениях (альбитизация, хлоритизация, окварцевание, карбонатизация), но в них большую роль играет выполнение урановыми минералами (настуртаном, коффинитом) открытых полостей с образованием, кроме вкрапленности, прожилков и даже маломощных жил.

При формировании метасоматических месторождений восстановительные барьеры не играют решающей роли.

Густая вкрапленность уранинита, браннерита образуется часто в лейкократовых альбититах, не содержащих минералов-восстановителей.

Причиной разрушения уранил-карбонатных комплексов при формировании жильных месторождений являются восстановительные реакции с вмещающими породами или падение парциального давления углекислоты и изменение pH растворов. Главный урановый минерал жил – настуртан, или урановая смолка.

Исходя из приведенной модели формирования гидротермальных месторождений, можно наметить основные факторы, определяющие образование крупных месторождений этого класса.

Провинции с крупными гидротермальными месторождениями отличаются большим разнообразием. Метасоматические месторождения проявлены в зонах ТМА древних щитов, жильные – в срединных массивах, штокверковые – в срединных массивах и складчатых поясах. Для всех урановых провинций характерно проявление разнотипной и разновозрастной урановой минерализации, представленной десятками разномасштабных месторождений и рудопроявлений. С провинциями совпадают крупные урановые аномалии в кристаллическом фундаменте, частично перекрытыми рыхлыми отложениями чехла.

Обязательным является наличие региональных долгоживущих разломов, узлов их сопряжения и пересечения. По данным глубинного сейсмического зондирования провинции имеют блоковое ячеистое строение. Поверхность Мохо расчленена на отдельные разновеликие треугольные и многоугольные блоки, смещенные относительно друг друга по вертикали на несколько километров. На поверхности это может выражаться в чередовании поднятий и вулкано-тектонических депрессий.

Крупные гидротермальные месторождения имеют вертикальный размах оруденения около 2 км и более. В зависимости от эрозионного среза и наличия или отсутствия молодых перекрывающих рыхлых отложений чехла они могут быть перекрытыми, «слепыми», не выходящими на поверхность фундамента, и вскрытыми, частично эродированными. Как показывает опыт изучения всех известных крупных гидротермальных месторождений урана, все они в той или иной мере проявлены на дневной поверхности. Рудоконтролирующие тектонические нарушения проявляются в геофизических полях, в перекрывающих наносах фиксируются геохимические и газовые аномалии (радон, гелий), рудные радиоактивные обломки, выпаханные ледниками или выброшенные на поверхность сквозными пострудными разломами. На поверхности фундамента над «слепыми» рудными телами широко проявлены разнообразные и специфические для каждого типа месторождений околоврудные изменения, ореолы урана и сопутствующих компонентов.

Выявление и разведка крупных гидротермальных месторождений урана требует применения комплекса геологических, геофизических и геохимических исследований и больших объемов буровых, поверхностных и подземных горных выработок.

Урановые месторождения гидротермального класса наиболее широко проявлены в разнообразных геологических обстановках. Наличие на территории России и других стран больших перспективных слабо или недостаточно изученных площадей позволяет оптимистически оценивать возможность выявления новых крупных гидротермальных месторождений урана.

1.4.5. Полигенные месторождения

К полигенным относятся два промышленных типа крупных месторождений урана: типа «несогласия» и комплекс гематитовых брекчий.

Первый тип по генетическим особенностям разделяется на два подтипа: канадский и австралийский. Имеются в виду месторождения провинций Атабаска в Канаде и Пайн-Крик в Северной Австралии.

В полигенных месторождениях урановые руды формируются в результате смешения гидротермальных растворов с подземными метеорными водами. Это положение признается всеми исследователями, но остальные вопросы генезиса, главным из которых является источник урана, вызывают ожесточенные споры. Не имея возможности рассмотреть все имеющиеся точки зрения, при описании модели формирования полигенных месторождений урана автор опирается на несколько основных источников [16, 28, 29, 57], собственные наблюдения и местную документацию, с которой он имел возможность ознакомиться лично во время посещения месторождений в составе Объединенной урановой группы МАГАТЭ.

Полигенные месторождения типа «несогласия» локализованы в тафрогенных прогибах, представляющих собой грабен-синклинали площадью десятки тысяч квадратных километров, заложенных в пределах раннепротерозойских мобильных поясов, пересекающих архейские кратоны.

Фундамент прогибов сложен гранитоидами, мелкозернистыми гнейсами (пелитами), графитовыми гнейсами и сланцами, карбонатными породами. Ураноносные провинции проявляются в виде крупных радиоактивных аномалий урановой и торий-урановой природы, обусловленных повышенным содержанием урана в породах

фундамента и многочисленными рудопроявлениями и месторождениями урана позднемагматического и гидротермального генезиса.

Прогибы сложены неметаморфизированными горизонтально залегающими осадочными породами, главным образом песчаниками. В прогибе МакАртур (Австралия) песчаники переслаиваются с вулканогенными породами. Базальные горизонты представлены высокопроницаемыми породами: песчаниками, конгломератами. Залегают они на коре выветривания пород фундамента, сложенной также хорошо проницаемыми брекчиями (реголитами).

Урановое оруденение контролируется «сквозными» разломами, пресекающими породы фундамента и чехла, выполненные разуплотненными брекчиями. Разломы заложены до начала осадконакопления в прогибах, что обусловило неровности рельефа фундамента.

Осадочные породы прогибов характеризуются очень низкими содержаниями урана (1-2 г/т). Прогиб Атабаска на аэрогаммаспектрометрической карте выделяется чистым пятном, окруженным интенсивными радиоактивными аномалиями. Песчаники Комболджи также бедны ураном.

Базальные горизонты прогибов на момент рудообразования были заполнены высокоминерализованными подземными водами (рассолами). Многие канадские ученые считают, что их температура за счет геотермического градиента превышала 200°C. Однако, судя по результатам глубинного бурения в осадочных бассейнах на платформе, таких, например, как Прикаспийская впадина или Предуральский краевой прогиб, даже на глубинах более 7 км температура подземных вод нигде не достигает 100°C, т.е. геотермический градиент ниже 2°C. Следовательно, и в платформенных прогибах Атабаска и Мак-Артур температура рассолов на глубинах порядка 5-7 км не могла превышать 100°C. Температура гидротермальных растворов по результатам изучения газово-жидких включений в минералах урановых руд составляла 140-160°C. Растворы содержали калий, магний, железо, метан и уран.

Большинство иностранных геологов отрицают гидротермальную гипотезу исключительно по одной причине – отсутствию в урановорудных провинциях магматических пород, синхронных с оруденением [28].

Термобарометрические параметры и состав растворов обычны для гидротермальных условий и не характерны для экзогенных процессов. Структурный контроль на месторождениях типа «несогласия» типичен для гидротермальных месторождений, когда богатые руды формируются в хорошо проницаемых разрывных нарушениях, при удалении от которых содержание урана резко или постепенно снижается. Фактические данные, включая факельное расположение ореолов изменений пород над рудоподводящими разломами (рис. 1.1), свидетельствуют в пользу гидротермальной концепции с привносом урана из фундамента и его отложением при смешении с поверхностными водами в разуплотненных полостях в результате снижения давления и потери углекислоты.

Причина осаждения урана – смешение горячих восходящих растворов с относительно холодными поверхностными рассолами. Рудоотложение сопровождалось на раннем этапе выносом кремнезема и карбонатов, что приводило к образованию пустых полостей в рудоподводящих разломах фундамента и обрушению кровли, сложенной песчаниками, конгломератами и реголитами. На втором этапе в «сквозных» разломах в породах фундамента и чехла развиваются ореолы глинистых изменений и интенсивная хлоритизация. По размеру ореолы изменений значительно превышают рудные тела и служат надежным поисковым признаком.

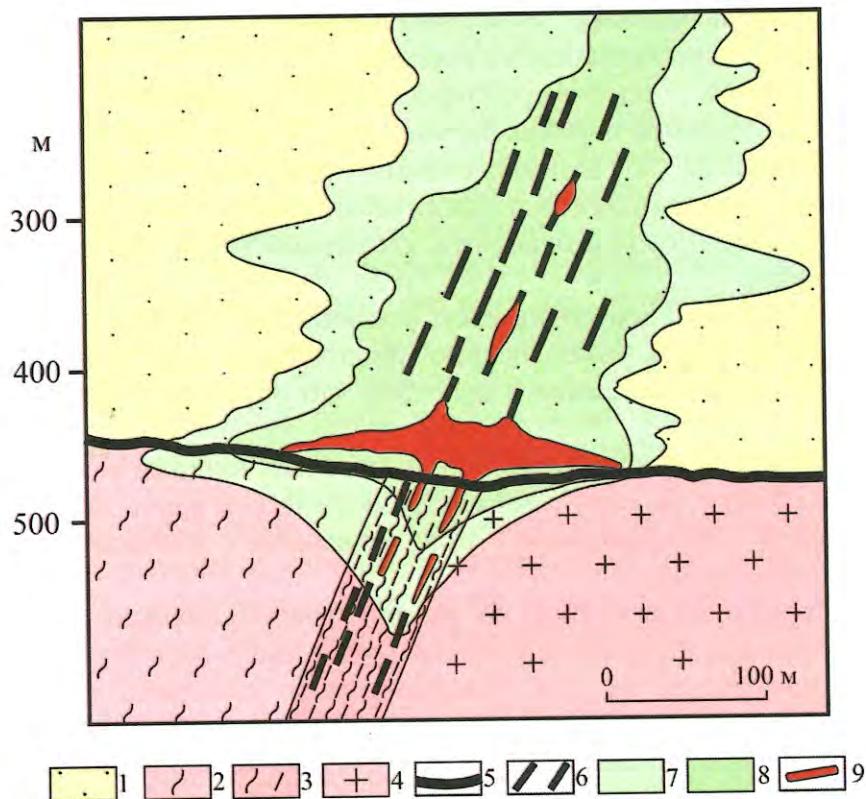


Рис. 1.1. Ореолы окорудных изменений месторождения Сигар-Лейк. Поперечный разрез [28].
 1 – песчаники формации Атабаска; 2 – биотитовые гнейсы; 3 – графит-биотитовые гнейсы; 4 – гнейсо-граниты; 5 – поверхность несогласия; 6 – зоны разломов; 7 – породы, претерпевшие изменения; 8 – катахлазированные, трещиноватые, глинизованные, карбонатизированные, сульфидизированные, хлоритизированные породы с повышенным содержанием урана; 9 – урановые руды

Урановые руды локализуются как в разломах фундамента, так и базальных горизонтах чехла, что обусловливает сложную морфологию рудных тел (крестовидную, клино- и сигароподобную и др.). Неоднократная отраженная активизация рудных площадей способствовала переотложению рудного вещества со ступенчатым увеличением концентраций урана в локальных условиях. Для руд характерно многообразие минеральных форм и многочисленность их генераций. Руды жильные, вкрашенные, прожилково-вкрашенные. Сложенены они уранинитом, настуритом, коффинитом, урановыми чернями, вторичными минералами урана.

Полихронность оруденения однозначно доказывается изотопно-возрастными исследованиями. В большинстве случаев фиксируются реликтовые древние урановые минералы (1700-1800 млн. лет), основная масса оруденения образовалась, очевидно, в гренвильскую эпоху (1000 ± 100 млн. лет). Поздние генерации урановых минералов имеют возраст 400 ± 100 млн. лет и от 200 до 2 млн. лет.

Состав сопутствующих компонентов в рудах определяется металлогенической специализацией провинции. В провинции Атабаска, особенно в восточной ее части, к западу от никель-кобальт-медного рудного пояса, в рудах месторождений «несогласий» отмечаются высокие содержания никеля, кобальта, меди, молибдена. В Северной Австралии, где развиты месторождения полиметаллов и золота, в урановых рудах в повышенных концентрациях встречаются свинец, цинк, медь, молибден и золото. Общим для всех месторождений являются повышенные содержания редких земель иттриевой группы и скандия.

Сохранению месторождений способствовал благоприятный платформенный режим – перекрывающий чехол защищал рудные залежи от воздействия агрессивных поверхностных вод.

Полигенные месторождения комплекса гематитовых брекчий представлены крупнейшим в мире месторождением урана Олимпик Дэм и несколькими недоразведанными месторождениями и рудопроявлениями в Южно-Австралийской провинции.

Месторождения приурочены к тектоническим брекчиям, заполняющим цепочку грабенов в рифтогенной зоне разломов системы Торренс, разделяющей докембрийский выступ (Гоулер) и складчатую область Аделаида. Рифтовая зона Торренс имеет субмеридиональное простиранье, пересекает Южно-Австралийскую провинцию и к югу уходит под воды залива Спенсер.

При заложении геосинклинали Аделаида зона Торренс соответствовала тыловой части вулканической островной дуги к западу от глубоководного желоба, для которой характерна обстановка пульсирующего тектонического расширения, приводящего к формированию нескольких поколений тектонических брекчий. Брекчирование сопровождалось вулканической и фумарольной деятельностью, выражющейся во внедрении тел порфировых фельзитов, отложении лапиллиевых туфов и пеплов. Характерно образование структур обрушения (гравитационный «коллапс», брекчии растрескивания).

Рудообразующие флюиды были связаны с мантийными пломами (горячими точками) – поднимающимся из мантии магматическим материалом, сопровождаемым гидротермальными рудоносными растворами, несущими Fe, Cu, U, Au, Ag, РЗЭ. Вокруг брекчевых грабенов в результате многократных взрывных извержений образовались невысокие, но широкие валы (маары), окаймляющие озера или морские заливы. В этих условиях поверхностные воды погружались по хорошо проницаемым брекчиям на значительные глубины, где смешивались с восходящими горячими гидротермальными растворами, что приводило к отложению рудного вещества. Нижняя граница проникновения поверхностных вод служит границей между окисленными и неокисленными рудами. Например, на месторождении Олимпик Дэм это поверхность раздела халькопиритовых и борнитовых руд. Ниже этой поверхности появляются реликты магнетита в гематите, уранинит ассоциируется с пиритом и халькопиритом, выше – уранинит встречается вместе с коффинитом, браннеритом, борнитом, халькозином и ковеллином.

Окаторудные изменения выражаются в повсеместной серицитизации, хлоритизации и гематитизации. Непосредственно в рудах более интенсивно проявились карбонатизация, окремнение, хлоритизация. Температура рудообразования определялась по гомогенизации газово-жидких включений в кварце и карбонатах – более 200°C.

Возраст урановых минералов 1588 ± 4 млн. лет, кислых вулканитов, предшествующих оруденению – 1590-1620 млн. лет.

Элементы полигенности проявлены во многих экзогенных и гидротермальных месторождениях. В пластово-инфилтратионных месторождениях в результате воздействия гидротермальных процессов происходит переотложение урана с образованием более богатых руд. В корах выветривания гидротермальных месторождений под воздействием поверхностных вод формируются богатые руды зон вторичного обогащения. В инфильтрационных и гидротермальных месторождениях дополнительным источником урана могут служить его сингенетические концентрации во вмещающих породах.

2. КРУПНЕЙШИЕ УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИРА. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАЗМЕРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И КАЧЕСТВО РУД

2.1. Месторождения типа «несогласия»

Крупные месторождения этого типа выявлены пока в двух провинциях: Атабаска (Канада) и Пайн-Крик (Австралия).

2.1.1. Провинция Атабаска. Рудный пояс Волластон

Площадь провинции 150 тыс. км², ресурсы урана 750 тыс. т.

Провинция Атабаска расположена на территории административной провинции Саскачеван в пределах мобильного складчатого пояса Черчилл, пересекающего в северо-восточном направлении архейский кратон Канадского щита. Протогеосинклинальный пояс Черчилл был консолидирован в конце раннего протерозоя (2000 млн. лет) и затем трижды подвергся тектономагматической активизации. Во время последней эпохи активизации возник обширный эллипсовидный прогиб Атабаска, к восточной периферии которого и приурочены основные месторождения типа «несогласия». Лишь одно месторождение (Клафф-Лейк) расположено во внутренней части прогиба в районе выступа фундамента (структуре Карсуэлл).

Прогиб Атабаска сложен породами одноименной формации: кварцевыми песчаниками с прослойми глинистых сланцев. В основании толщи песчаников залегает горизонт конгломератов. Породы фундамента до отложения пород формации Атабаска подверглись выветриванию с образованием так называемых реголитов, состоящих из кварца, каолинита, хлорита, гематита и обломков исходных пород.

Максимальная мощность формации Атабаска 1500 м. Возраст базальных конгломератов 1350±50 млн. лет.

Породы фундамента и протоплатформенного чехла пересекаются северо-западной системой даек толеитового состава. Их возраст, определенный калий-argonовым методом, 1000±100 и 1230±100 млн. лет.

Для провинции Атабаска характерна чрезвычайная насыщенность урановыми месторождениями, рудопроявлениями и аномалиями. В северо-западной части провинции в районе Биверлодж на площади 80 км² сосредоточено более 40 гидротермальных штокверковых и метасоматических месторождений урана. Ресурсы урана вместе с отработанными запасами превышают 50 тыс. т. Установлены четыре эпохи рудообразования и интенсивного переотложения урана: 1780±50 млн. лет, 1550±50 млн. лет, 1075±50 млн. лет и 430±30 млн. лет.

В северной и южной части провинции выявлено большое количество урановых рудопроявлений в пегматитах и кремниево-калиевых метасоматитах с возрастом около 2000 млн. лет. Общие ресурсы этих рудопроявлений оцениваются в более чем 100 тыс. т. урана.

Метаморфические породы фундамента, в том числе графитсодержащие разности, и песчаники Атабаска характеризуются низкими содержаниями урана (менее 3 г/т), а микроклиновые граниты, пегматоиды – высокими (более 10 г/т).

Восточную часть прогиба охватывает складчатый пояс Волластон, к которому приурочены почти все известные месторождения типа «несогласия». Породы фундамента представлены мигматитами, гнейсами, пелитами, кварцитами. Гнейсы и пелиты содержат пропластки графита. Породы фундамента и чехла перемежаются мощными зонами разломов северо-восточного, северо-западного и широтного простирания. Заложены они были до отложения пород прогиба, что отразилось в рельфе фундамента в виде приподнятых валов и палеодолин, но затем подновились и на момент рудообразования приобрели «сквозной» характер, пересекая породы как фундамента, так и чехла. В разломах, пересекающих

графитсодержащие породы, отмечается концентрация графита на плоскостях скольжения, вплоть до образования графитовых швов мощностью до нескольких метров.

Узлы пересечения «сквозными» разломами поверхности структурно-стратиграфического несогласия вмещают все известные месторождения. Всего с 1968 по 2006 гг. в пределах пояса Волластон выявлено 14 месторождений. Ресурсы урана вместе с запасами оцениваются в 600 тыс. т. Протяженность пояса 200 км при ширине 50 км. Площадная продуктивность урана 60 т/км². Если брать узкую зону, в которой расположены месторождения Мидвест, Сигар-Лейк, МакАртур, Миллениум и недавно открытые месторождение Феникс (зона Мидвест–МакАртур), то продуктивность возрастает до 345 т/км². Однако в этой зоне месторождения расположены дискретно, разделены большими пустыми пространствами и контролируются поперечными разломами. Для отдельных рудных полей характерны высочайшие концентрации урана. Например, для рудного поля Сигар-Лейк (Восточная и Западная зоны) площадная продуктивность урана составляет 160 000 т на 1 км².

Урановые руды локализовались в брекчиях, зонах дробления фундамента, в реголитах, в базальных горизонтах чехла. Главными урановыми минералами являются оксиды урана и урановые черни, встречается коффинит и вторичные минералы урана. Руды массивные, реже вкрашенные. Характерно наличие нескольких генераций минералов (до пяти). К ранним генерациям относятся высокоотражающий настурит и уранинит, а среди более поздних наряду с настуритом выделяются урановые черни и коффинит.

В рудах установлены высокие, вплоть до промышленных, содержания никеля, мышьяка, серебра. Ранние ассоциации урана ассоциируются с кварцем, хлоритом, карбонатами, а также с сульфидами и арсенидами. Поздний настурит отлагается с минералами радиогенного свинца (галенит, клаустолит), коффинитом, герсдорфитом, миллеритом, никелином, бравоитом, пиритом, сфалеритом, халькопиритом и гематитом. Ниже плоскости несогласия встречаются типичные минералы зоны вторичного обогащения – борнит, халькоzin, ковеллин.

Околорудные изменения весьма разнообразны. К ранним изменениям относятся кремниево-калиевый метасоматоз, альбитизация и диафторез (хлоритизация амфиболя и биотита, серicitизация полевых шпатов, выделение эпидота, сфена). Урановая минерализация сопровождается интенсивной хлоритизацией в фундаменте и иллитизацией песчаников вплоть до образования глин.

Ореол измененных пород вокруг крупных месторождений образует вертикальный факел, охватывающий рудоподводящий разлом в фундаменте и всю мощность перекрывающих песчаников.

Температура гомогенизации газово-жидких включений в доломите 120–145°C, а в позднем кальците – от 127 до 150°C.

По огромному количеству данных свинцово-изотопного анализа по урановым минералам многих месторождений изохронный возраст основной массы руд 1100±100 млн. лет, возраст переотложения урана 420±30 млн. лет.

Главная особенность месторождений – беспрецедентно высокие содержания урана в рудах. В трех месторождениях среднее содержание урана 0,1–0,3 %, в двух – 0,3–1 %, в восьми – от 1 до 10 % и двух – более 10 %.

Урановые месторождения в прогибе Атабаска располагаются на глубинах от поверхности до 700 м (рис. 2.1). Первые месторождения (Рэббит-Лейк), выходящие на поверхность и перекрытые только четвертичными, в том числе ледниковыми, отложениями, выявлены аэрогаммасъемкой, которая зафиксировала выпаханные ледником обломки урановых руд, а последние (Миллениум, Феникс) – аэрогеофизическими и наземными геофизическими съемками, заверенными большими объемами бурения.

Поисковые и разведочные работы в прогибе Атабаска продолжаются до настоящего времени. Есть несколько очень перспективных проектов, реализация которых приведет к открытию новых месторождений.

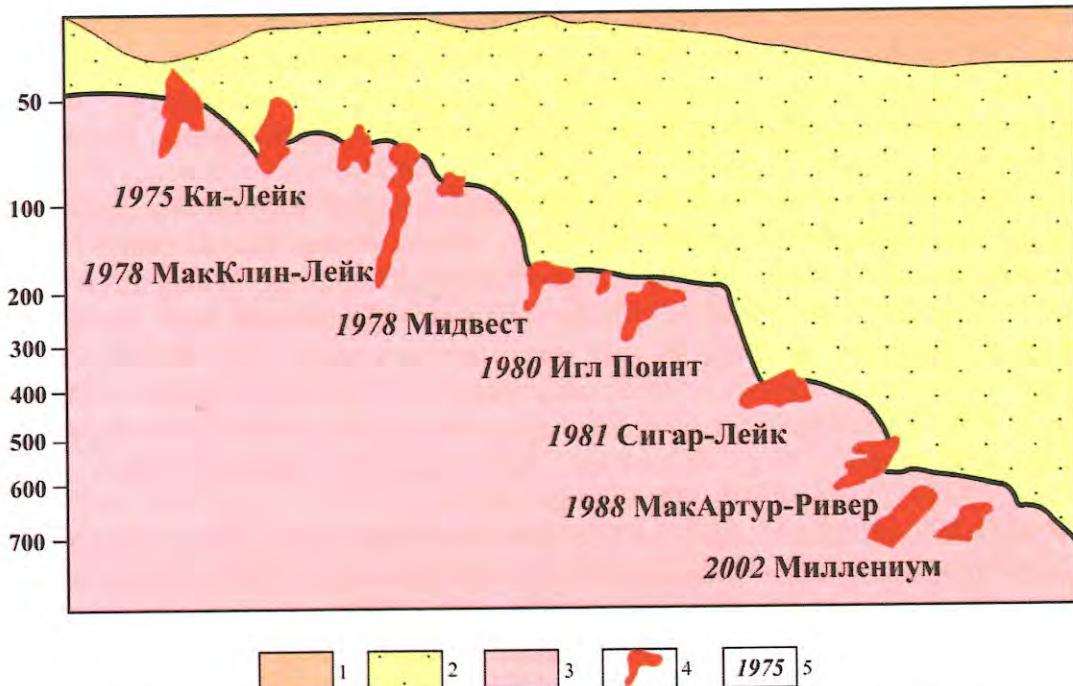


Рис. 2.1. Положение урановых месторождений в прогибе Атабаска относительно поверхности несогласия [57].
1 – четвертичные отложения; 2 – песчаники Атабаски; 3 – гнейсы и гранитоиды фундамента; 4 – рудные тела; 5 – год открытия месторождения

По положению относительно поверхности несогласия выделяется три группы месторождений: 1) локализованные в фундаменте, 2) залегающие почти полностью в породах чехла, 3) расположенные в равной мере в породах фундамента и чехла.

Каждая из этих групп представлена крупными месторождениями. Первая – Игл Поинт, вторая – Сигар-Лейк, третья – МакАртур. Месторождение Ки-Лейк занимает промежуточное положение. Одна из двух крупных залежей локализована, главным образом, в фундаменте, а вторая в песчаниках.

Месторождение Игл Поинт

Месторождение расположено в северо-восточной части прогиба Атабаска в западном борту куполообразного выступа фундамента и контролируется мощным надвигом северо-северо-восточного простирания. В этом же разломе южнее локализованы месторождения Коллинз-Бей, Рэббит-Лейк и Хорсешу. Месторождение открыто в 1980 г. с использованием комплекса аэрогеофизических, наземных радиометрических и геохимических методов. Состоит оно из нескольких рудных зон: Южная, Северная, 01, 02, 03. Самая крупная зона Южная, ее запасы 28 850 т со средним содержанием урана 1,39%. Запасы урана остальных четырех зон 22 300 т (среднее содержание урана 1,76%). Общие запасы урана месторождения Игл Поинт 51 150 т, среднее содержание урана 1,542 %.

Все основные рудные тела локализованы в разломе между двумя субпараллельными надвигами: нижним Коллинз Бей и верхним Игл Поинт (рис. 2.2). Породы фундамента надвинуты на песчаники Атабаски с амплитудой 50-70 м. Мощность рудовмещающей зоны разломов 75-100 м. Разлом проходит вдоль контакта архейских гранитогнейсов и раннепалеозойских графитсодержащих парагнейсов и выходит на поверхность фундамента, перекрытого ледниками четвертичными отложениями. В висячем боку от надвига Игл Поинт отходят более пологие оперяющие нарушения.

Характерная особенность месторождения Игл Поинт – локализация основных рудных тел исключительно в фундаменте. До его поверхности руды не доходят примерно на 100 м, по падению они прослежены на 450 м. Между двумя надвигами породы интенсивно брекчированы. В процессе ранней аргиллизации с выносом кремнезема

образовались открытые полости и поры, что способствовало увеличению проницаемости брекчий и поступлению мощного потока гидротермальных растворов. В данном случае о поверхностном происхождении растворов и экзогенном источнике урана трудно предположить. Об этом свидетельствует и отложение урановых минералов внутри не выходящих на поверхность оперяющих трещин в висячем боку разлома, приводящие к образованию очень богатых ураном рудных линз. Их мощность 1-2 м, протяженность по простиранию и падению 3-5 м. На примере этих рудных линз интересно проследить взаимоотношение уранового оруденения и графита. Богатые руды во внутренних частях линз приурочены к хрупким и вследствие этого более трещиноватым породам, которые обрамляются пластичной и менее трещиноватой графитовой оторочкой с вкрапленной бедной минерализацией. По нашему мнению, это свидетельствует о чисто структурной роли графита, концентрирующегося на плоскостях сколовых трещин и не оказывавшего влияния на осаждение урана из растворов.

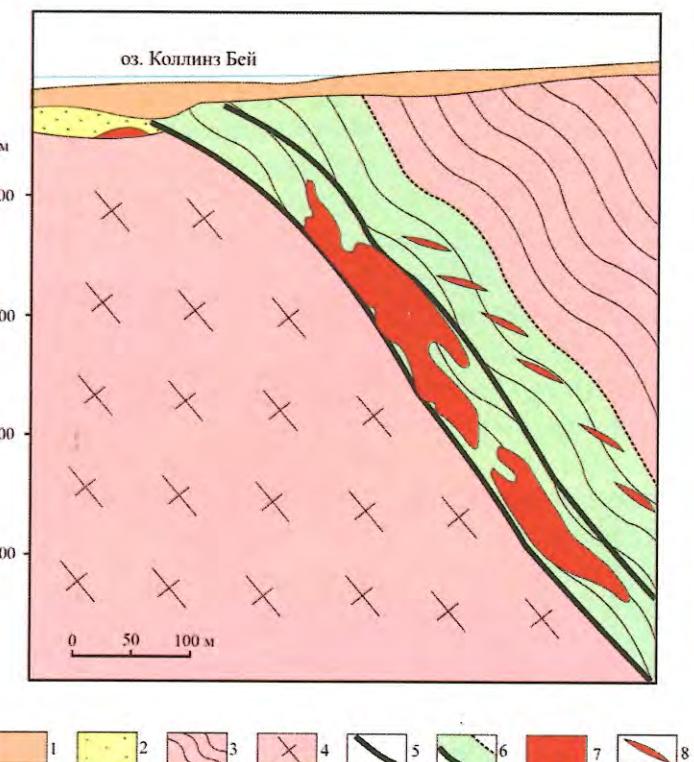


Рис. 2.2. Разрез через месторождение Игл Пойнт [57].
1 – четвертичные отложения; 2 – песчаники Атабаски; 3 – раннепротерозойские парагнейсы; 4 – архейские гранито-гнейсы; 5 – разломы; 6 – ореол изменения вмещающих пород; 7 – рудные тела; 8 – рудные линзы висячего бока

Урановые руды внутри зоны разломов представлены густой вкрапленностью и массивными скоплениями уранинита и настурана по трещинам и в цементе брекчий, ассоциирующими с магнезиально-железистым хлоритом (судоитом) и магнезиальным гидромусковитом (иллитом). К более поздним минералам относятся коффинит и вторичные минералы урана. Месторождение относится к монометалльным (уранным), но в рудах отмечены минералы свинца, меди, никеля и золота.

Ореол гидротермальных изменений выходит на поверхность фундамента и охватывает всю зону разломов и парагнейсы висячего бока. Общая его ширина 100-150 м. Внутри ореола брекчии и парагнейсы аргиллизированы и хлоритизированы.

Месторождение МакАртур

Месторождение расположено в юго-восточной части прогиба Атабаска в 40 км к западу от его восточного борта. Открыто в 1988 г. на глубине 550-650 м от дневной поверхности под мощной (500 м) толщей песчаников. Был использован весь поисковый комплекс методов: аэрогеофизическая подготовка, наземные геофизические и геохимические исследования, составлены карты фундамента с выделением графитистых горизонтов, огромный объем бурения.

Запасы урана месторождения 192 085 т при среднем содержании в рудах 22,28%. В 2009 г. на руднике МакАртур добыто 7 273 т урана из руд со средним содержанием урана 21%.

Рудное тело локализовано в крупном пологом надвиге северо-восточного простирания среди пористых высокопроницаемых брекчий (рис. 2.3). Мощность разлома около 50 м. В лежачем боку располагаются кварциты, в висячем – метаморфизованные тонкозернистые осадочные породы (пелиты) с графитом. Породы фундамента надвинуты на песчаники Атабаска с амплитудой более 100 м.

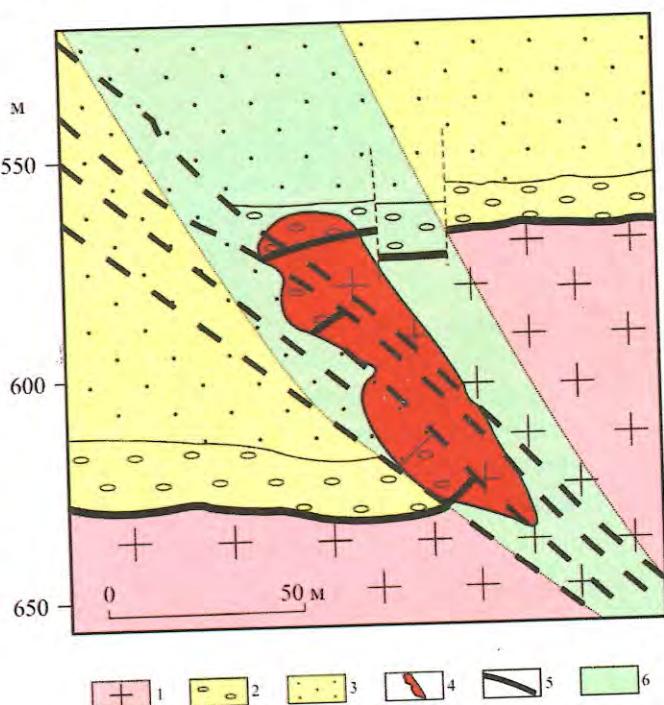


Рис. 2.3. Разрез через месторождение МакАртур [57].
1 – фундамент; 2 – конгломераты; 3 – песчаники чехла; 4 – рудное тело; 5 – разломы;
6 – оклорудные изменения

На ранней стадии иллитизации и хлоритизации за счет выноса кремнезема, кальция и частично калия в верхней части разлома образовались пустоты, и произошло обрушение песчаников и конгломератов. В результате образовалась крупная высокопроницаемая полость, охватившая верхнюю часть фундамента и базальные горизонты чехла. Объем этой полости ($50 \times 150 \times 500$ м) составил примерно 40 млн. м³. Она была заполнена этой полости, поступившими из песчаников Атабаски, и восходящими гидротермальными рассолами, поступившими из песчаников Атабаски, и восходящими гидротермальными растворами. Во включениях в кварце установлены рассолы, богатые хлоридами Na, Ca, Mg. Включения были захвачены при температурах 140-160°C и давлением 600 бар [28, 57]. Гидротермальные растворы содержат метан, углекислоту и высокие концентрации урана. К отложению урана приводили потери углекислоты и реакции горячих гидротермальных растворов с поверхностными рассолами.

О мощном ураноносном гидротермальном источнике свидетельствует огромный факел оклорудных изменений, охвативших всю ширину разлома в фундаменте и зону

мощностью 400 м во всей 500-метровой толще песчаников. На поверхности песчаников зона изменений протягивается на 100 км от месторождения Ки-Лейк до месторождения МакАртур и далее на северо-восток. Ширина ее достигает 20 км. Наиболее широко распространен иллит, в ореоле которого закартированы зоны, богатые дравитом и хлоритом, шириной до 5 км. Вся зона изменений фиксируется аномальным содержанием урана – 5-10 г/т на фоне неизмененных песчаников (1-2 г/т).

Урановая руда приурочена к зонам брекчирования и высокой трещиноватости в гнейсах фундамента и песчаниках чехла. Ранняя генерация представлена гроздевидными скоплениями уранинита в синевато-зеленой глинисто-хлоритовой массе с вкрашенностью кубических кристаллов уранинита и галенита. Уранинит II генерации замещает ранний уранинит совместно с галенитом и халькопиритом. Самыми поздними являются коффинит и вторичные минералы урана.

Руды месторождения МакАртур относятся к моноэлементным (урановым). Верхняя часть рудного тела располагается на 20 м выше поверхности несогласия, а нижняя – на 90 м ниже. В руде отмечается вкрашенность галенита, пирита, халькопирита, никель-кобальтовых арсенидов и золота.

Месторождение Сигар-Лейк

Месторождение расположено в узкой полосе, прилегающей к гранито-гнейсовым куполам, в которой размещаются месторождения Ки-Лейк, МакАртур, Миллениум. Открыто оно в 1981 г. на участке, где компания «Кожемя» (ныне АРЕВА) вела поисковые работы с 1974 г. Основным поисковым методом был метод электроразведки в аэро- и наземных модификациях, но главную роль сыграли радиометрические и геохимические методы, выявившие мощный ореол глинистых изменений в песчаниках, сопровождаемый радиоактивными аномалиями на поверхности песчаников в концентрациях 4-9 г/т урана.

В пределах единого месторождения субширотного профиля выделяются две рудные зоны – Восточная и Западная.

Запасы урана в Восточной зоне 85766 т со средним содержанием 15,4%, в Западной зоне – 45620 т и 14,35% соответственно. Всего на месторождении Сигар-Лейк запасы урана составляют 131386 т со средним содержанием 15,02%.

Месторождение приурочено к синклинальной структуре, сложенной кварцитами и метапелитами, огибающими с юго-востока купол гранито-гнейсов. Метапелиты содержат пропластки, обогащенные графитом, вдоль которых прослеживаются субсогласные тектонические нарушения.

Рудная залежь состоит из очень богатых рудных тел, сложенных почти нацело урановыми минералами и окруженных ореолом более бедных руд. Она имеет веретенообразную форму. По профилю протягивается на 2,2 км, ширина ее в поперечном сечении 200 м, мощность до 20 м от основной залежи, залегающей непосредственно над поверхностью несогласия. Вниз в фундамент и вверх в песчаники отходят жилообразные рудные тела, выполняющие субпараллельные трещины, являющиеся швами рудоподводящего «сквозного» разлома (рис. 2.4). Субгоризонтальная залежь расположена над пологим выступом фундамента, сложенного «очковыми» гнейсами, которые представляют собой тектонически нарушенные породы в зоне древнего разлома. Разлом был реактивизирован после отложения песчаников, в результате чего образовались кругопадающие «сквозные» тектонические нарушения, служащие путями для просачивания восходящих гидротермальных растворов. Вдоль этих нарушений и в базальных хорошо проницаемых горизонтах чехла за счет выщелачивания кварца образовались пустые полости, обусловившие обрушение пород и интенсивное брекчирование. Отдельные обломки песчаников найдены в зонах брекчий, в 25 м ниже поверхности несогласия. Зона полного выщелачивания кварца в песчаниках заполнена глинистым материалом и хлоритом. Вниз, в фундамент прослеживаются рудные апофизы. Подобные рудные крутые зонки наблюдаются и в песчаниках на 200 м выше несогласия.

Под залежью породы фундамента замещаются магнезиальным иллитом и алюмомагнезиальным судоитом и превращены в смесь этих минералов с реликтами кварца, скоплениями магниевого турмалина (дравита), сидерита, кальцита и стяжениями углеродистого вещества битумного типа. Сама залежь сложена плотными темно-зелеными глинами, состоящими из иллита и судоита.

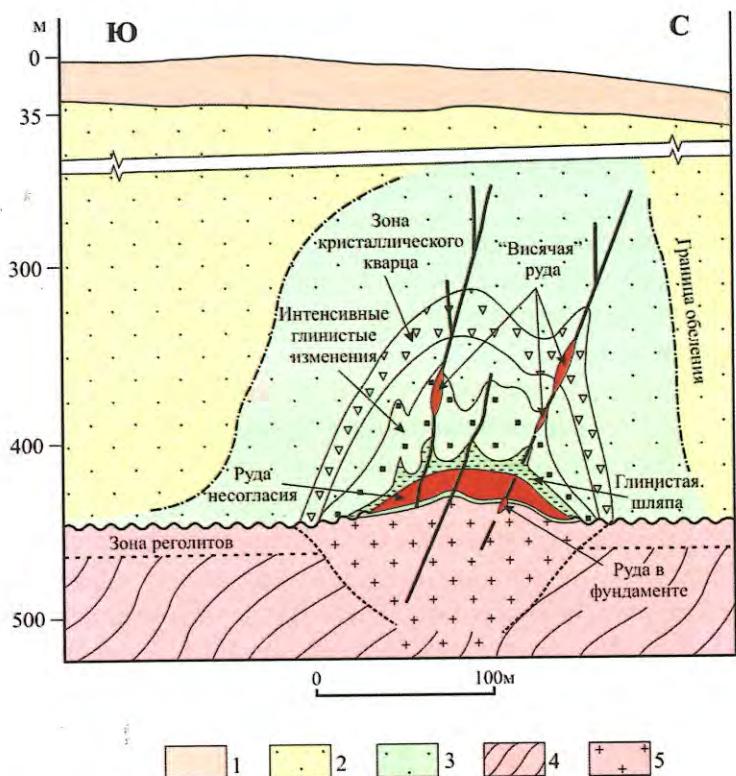


Рис. 2.4. Поперечный разрез месторождения Сигар-Лейк [57].

1 – четвертичные отложения; 2 – песчаники Атабаска; 3 – сероцветные песчаники с иллитом, хлоритом и дравитом; 4 – протерозойские гнейсы и сланцы с прослойками графита; 5 – измененные породы фундамента

Урановая минерализация сформировалась в несколько стадий. В первую стадию (фазу) в железисто-магнезиальных глинах образовались грозевидные скопления уранинита, позднее осаждается идиоморфный уранинит в ассоциации с арсенидами и арсенидо-сульфидами (раммельсбергит, никелин, маухерит). После нового импульса трещинообразования следовала сульфидная фаза (халькопирит, сфалерит, галенит, иордизит). Сульфиды выполняют трещины в уранините. Поздняя урановорудная фаза представлена настураном в парагенетической связи с гематитом, железистым иллитом и каолинитом. В рудах Сигар-Лейк широко распространен коффинит, который замещает оксиды урана, нарастает на арсенидах и сульфидах, слагает натечные образования и пропитывает глинистые массы. С халькопиритом сульфидной стадии ассоциируют минералы зоны окисления и вторичного обогащения – барит, халькоzin и самородная медь.

В жильных рудах, уходящих по трещинам в фундамент и в вышележащие песчаники («висячие» руды), урановая минерализация аналогична таковой в основной залежи. Однако на глубине в жилках, сложенных обычным уранинитом, установлен уранинит, содержащий до 2,4% тория. В «висячих» рудах наряду с идиоморфным уранинитом развит настуран и коффинит.

В рудах месторождения Сигар-Лейк, кроме урана, отмечаются (%): Pb – 1,8, As – 2,3, Ni – 1,4, Co – 0,2, Mo – 0,2, Zn – 0,06.

Приведенные данные свидетельствуют о длительности формирования месторождения со ступенчатым накоплением урана, самые богатые участки руд сложены

и
ами
ями
ими

множеством генераций урановых минералов, в том числе самыми поздними – вторичными.

Рудная залежь окружена ореолом измененных пород, протягивающимся на 2,5 км по простиранию при ширине в поперечном сечении до 400 м (см. рис. 1.1). Ореол охватывает рудоподводящий разлом в фундаменте и протягивается до поверхности на 600 м через всю толщу песчаников. В рудной залежи и почти на 100 м выше из песчаников выщелачен кварц и замещен глинистыми минералами, хлоритом, гидрослюдами (иллит, судоит). Над этой зоной вынесенный кремнезем отлагается в пустотах в виде эвгидрального кварца. Во внешней части ореола в песчаниках цемент заменен иллитом, дикитом, дравитом, каолинитом. Зона измененных песчаников на поверхности картируется аэрогаммаспектрометрической съемкой отрицательными аномалиями калия и положительными аномалиями урана.

На момент рудообразования вся огромная грибообразная полость объемом 40-50 млн. м³, уходящая ножкой в фундамент, была заполнена поверхностными рассолами. Во включениях в кварце установлены рассолы с высокой концентрацией NaCl, MgCl₂, CaCl₂. Предполагается, что включения были захвачены при температуре 140°C и давлении 600 бар. Восходящие гидротермальные растворы, если судить по масштабам связанных с ними изменений, богатству и размерам рудных залежей, содержали высокие концентрации урана и поступали по мощному «сквозному» разлому, смешиваясь с поверхностными рассолами. Огромная полость, заполненная рассолами, служила контрастным структурно-геохимическим барьером, обусловившим формирование богатых урановых руд.

Месторождение Ки-Лейк

Месторождение расположено на юго-восточной окраине прогиба Атабаска. Это первое крупное месторождение урана, выявленное в провинции (рис. 2.5.). Оно состоит из двух крупных залежей: Гертнер и Дейлман и нескольких мелких. Запасы Гертнер 23 000 т при среднем содержании урана в рудах 1,7%, Дейлман 41 300 т (2,1%). Общие запасы месторождения 73 900 т при среднем содержании 2%. Месторождение выявлено по аномалиям урана и сопутствующих элементов на поверхности четвертичных отложений.

Обе рудные залежи контролируются одним крупным надвигом северо-восточного простирания, падающим на северо-запад под углами 50-70°. Породы фундамента надвинуты на песчаники Атабаска с амплитудой 30 м. Верхняя часть месторождения уничтожена эрозией и перекрыта ледниковыми отложениями с рудными валунами. Мощность перекрывающих четвертичных отложений 10-100 м.

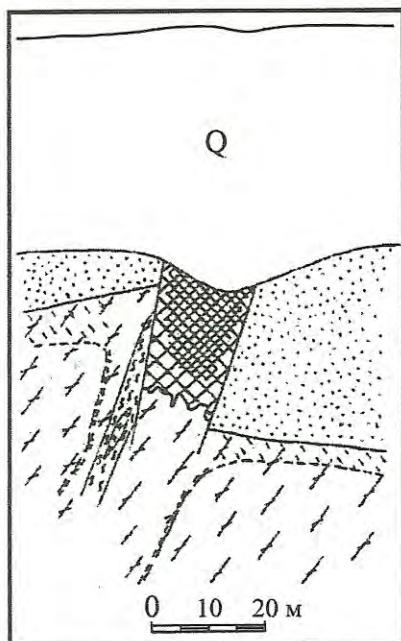
Гертнер залегает в основном в трещиноватых и брекчированных песчаниках, верхняя часть Дейлман – также в песчаниках, а нижняя – непосредственно в разломе на глубине до 150 м. Уходящие на глубину апофизы контролируются зонами рассланцевания и брекчирования пород фундамента. Графитовые прослои не несут следов оруденения.

Никель-урановая минерализация заполняет пустоты в катаклизированных гнейсах, замещенных иллитом и магнезиальным хлоритом.

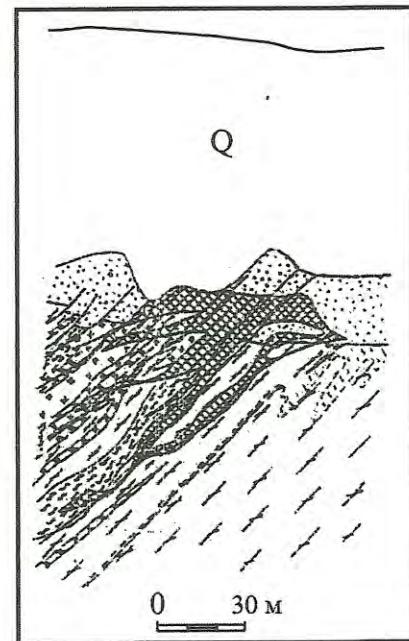
В верхней части разлома под поверхностью несогласия рудные минералы образуют сплошные скопления в породах, замещенных серицитом, железисто-магнезиальным хлоритом и каолинитом. В песчаниках и конгломератах Атабаски рудные минералы отлагаются в трещинах и пустотах брекчий.

Урановая минерализация в рудах представлена массивным и сажистым настураном и коффинитом, никеливай – герсдорфитом, никелином, раммельсбергитом, миллеритом. Присутствует галенит с радиогенным свинцом, сфалерит и халькопирит. Процесс рудообразования был длительным, о чем свидетельствует переотложение накопившегося радиогенного свинца. В рудной зоне проявлены признаки неоднократных перемещений по разлому, их брекчирование и лимонитизация пород.

залежь Гертнер



залежь Дейлман



1	2	3	4	5	6	7	8	9
флювиогляциальные отложения плейстоцена	песчаник	биотитовые гнейсы	графитсодержащие сланцы	пегматоид	кора выветривания	контур зоны околоврудных изменений	разлом	рудные тела

Рис. 2.5. Поперечные разрезы через рудные залежи месторождения Ки-Лейк.

1 – флювиогляциальные отложения плейстоцена; 2 – песчаник; 3 – биотитовые гнейсы; 4 – графитсодержащие сланцы; 5 – пегматоид; 6 – кора выветривания; 7 – контур зоны околоврудных изменений; 8 – разлом; 9 – рудные тела

Содержание никеля в рудах от 1 до 2,67%. Встречается мышьяк (до 7,6%) и серебро (до 68 г/т). Температура рудообразования, установленная по ассоциации браннерита и тетрагонального оксида урана, 135-137°C. Установлено несколько этапов отложения и переотложения урановых минералов: 1230, 1000-900, 430 и 90 млн. лет.

Совокупность данных по четырем крупным месторождениям урана провинции Атабаска позволяют наметить четыре главнейших фактора, определяющих размеры месторождений типа «несогласия».

1. Мощный глубинный источник гидротермальных растворов и урана, который обусловлен высокой зараженностью ураном всей провинции; проявление нескольких эпох тектонической активности; большая пропускная способность рудоподводящих разломов, увеличенная за счет выноса кремнезема и карбонатов на первом этапе гидротермальной деятельности, приведшего к формированию структур «коллапс».

2. Наличие контрастного структурно-геохимического барьера, сформированного в узле пересечения рудоподводящими разломами поверхности стратиграфического несогласия и выразившегося в формировании огромных высокопроницаемых полостей, заполненных рассолами поверхностного происхождения, на пути восходящих ураноносных гидротермальных растворов. В результате смешения растворов разных температур и составов, падения давления и дегазации формируются богатые урановые руды.

3. Длительное пульсирующее сопряженное с трещинообразованием поступление растворов и урана способствовало неоднократному отложению и переотложению рудного вещества со ступенчатым увеличением концентрации урана в локальных участках. Возрасты различных генераций урановых минералов совпадают с возрастом

гидротермальных штокверковых, жильных и метасоматических месторождений соседнего Биверлоджского района (1075 ± 50 млн. лет, 430 ± 30 млн. лет).

4. Сохранение месторождений в фанерозойское время благодаря установлению стабильного платформенного режима, при котором перекрывающий месторождение платформенный чехол защищал рудные залежи от воздействия агрессивных поверхностных вод. Месторождения, локализованные на восточной окраине прогиба, где платформенный чехол был частично уничтожен эрозией (например, Рэббит-Лейк), также были эродированы и потеряли значительную часть запасов урана.

Все перечисленные факторы соблюдаются на двух крупнейших и богатейших месторождениях урана провинции Атабаска – МакАртур и Сигар-Лейк. На месторождении Игл Поинт отсутствовал контрастный структурно-геохимический барьер, так как значительная часть месторождения локализовалась внутри разломов фундамента, не выходящих в песчаники чехла. Интересно, что в этом случае в полной мере был проявлен первый фактор, и благодаря высокому содержанию урана в гидротермальном растворе образовались довольно богатые руды с процентным содержанием урана. Но все же месторождение Игл Поинт оказалось по запасам в разы меньше месторождений, где проявлены все четыре фактора.

Месторождение Ки-Лейк на момент образования обладало очень большими запасами, так как здесь проявлены все три главнейших фактора, как на месторождении МакАртур и Сигар-Лейк. Однако четвертый фактор, гарантирующий сохранность месторождения, не проявился, и часть месторождения Ки-Лейк была уничтожена эрозией.

Поиски «слепых» месторождений на глубинах 400–700 м под чехлом осадочных пород – весьма сложная задача. Богатые рудные тела, даже при очень больших запасах урана, небольших размеров, и для их обнаружения требуется очень плотная разведочная сеть буровых скважин. Выявление таких месторождений требует применение комплекса геологических, геохимических и геофизических методов.

Для картирования литологических разностей пород фундамента используют аэромагнитный градиентометрический метод. Для выявления рудоносных разломов, фиксируемых часто по графитовым проводникам, применяется метод вызванной поляризации и сопротивлений. Ореолы урана и продуктов распада (радон, гелий, тритий) в перекрывающих песчаниках оконтуриваются по результатам гамmasпектрометрической, геохимической, биогеохимической, радоновой и трековой съемок. Заверка выявленных аномалий требует весьма значительных объемов бурения.

Сорокалетний опыт успешных работ канадских геологов, приведший к открытию нескольких крупнейших месторождений урана, говорит о необходимости соблюдения некоторых условий, без которых даже самые современные методы поисков не дадут положительных результатов. К ним относятся [28]:

- исключительное упорство и уверенность в успехе проведенных работ даже при первых отрицательных результатах,
- постоянное устойчивое финансирование, позволяющее использовать большой объем картировочного бурения, а также геофизического и геохимического картирования,
- постоянный анализ современными методами получаемой информации, что позволяет своевременно переходить от одной неподтверждавшейся поисковой модели к новой, более обоснованной.

На территории России известно три прогиба, по возрасту и геологическому строению близких к прогибу Атабаска: Пашско-Ладожский и Терский на Балтийском и Учуро-Майский на Алданском щитах. На двух щитах, кроме Терского прогиба, в небольших объемах проводились поисково-оценочные работы при научном сопровождении ВСЕГЕИ и ВИМС. В Пашско-Ладожском прогибе выявлено мелкое урановое месторождение Карку, уверенно относимое к типу месторождений «несогласия». Перспективность всех трех прогибов на обнаружение крупных месторождений не исчерпана. Ни одно из вышеперечисленных условий не соблюдено.

Геологоразведочные работы следует продолжить с применением всего комплекса исследований, приемлемого в провинции Атабаска.

2.1.2. Провинция Пайн-Крик. Рудный пояс Аллигейтор-Риверс

Общие черты провинций Пайн-Крик и Атабаска – сходная геологическая обстановка (архей-протерозойский кристаллический фундамент перекрыт позднепротерозойским платформенным чехлом), высокая насыщенность ураном (высокий фон в породах фундамента, десятки месторождений и рудопроявлений урана), наличие полигенных месторождений урана вблизи поверхности структурно-стратиграфического несогласия.

Провинция охватывает северную часть раннепротерозойского мобильного пояса, проходящего между двумя архейскими блоками Северо-Австралийского щита. Толща протерозойских пород, перекрывающая архейский цоколь, представлена метаморфизованными тонкозернистыми морскими осадками (пелитами), переслаивающимися с карбонатными и углеродистыми породами. После складчатости и регионального метаморфизма толща была прорвана интрузиями гранитов, образующими крупные массивы. На отдельных участках метаморфические породы перекрываются кислыми лавами и туфогенными осадками (вулканиты Эдит-Ривер). Они относятся к промежуточным образованиям между архей-раннепротерозойским фундаментом и платформенным чехлом. Породы чехла (песчаники Комболджи) выполняют грабен-синклиналь Мак-Артур.

Возраст постскладчатых гранитов 1750 ± 50 млн. лет, промежуточных вулканитов – 1700 ± 50 млн. лет, базальных горизонтов чехла – 1650 ± 50 млн. лет. Таким образом, в отличие от провинции Атабаска разрыв во времени формирования пород фундамента и чехла в Пайн-Крик незначительный – не более 100 млн. лет.

Для пород мобильного пояса и интрузивных гранитов характерна высокая радиоактивность. К ним приурочено огромное число урановых и торий-урановых аномалий (рис. 2.6). Повышенные содержания урана (г/т) установлены в гранитах (25-35), гранитизированных выступах фундамента (10), вулканитах Эдит-Ривер и графитсодержащих сланцах (7-9).

Вокруг массивов гранитов выявлено большое количество рудных месторождений и рудопроявлений. В эндоконтактах массивов локализованы пегматитовые, грейзеновые и жильные месторождения вольфрама, олова, тантала, молибдена, лития, в экзоконтактах – месторождения золота и полиметаллов жильного типа, содержащие урановые минералы (уранинит и настуран). На двенадцати месторождениях уран ассоциируется с медью, свинцом и цинком, на семи – с золотом. Типичным представителем является отработанное медь-свинец-урановое месторождение Рам-Джангл. В восточном борту мобильного пояса локализованы крупные месторождения типа «несогласия», с которыми связаны основные запасы и ресурсы урана.

Площадь провинции Пайн-Крик 140 тыс. км², ресурсы урана оценены в 350 тыс. т.

Все известные месторождения урана типа «несогласия» располагаются в узкой полосе вдоль контакта восточного архейского выступа фундамента – комплекс Нанамбу с высокометаморфизованными породами мобильного пояса (формация Кэхилл). Породы нижней свиты формации Кэхилл представлены переслаиванием пиритсодержащих графит-биотитовых сланцев, кварцитов, параамфиболитов, силикатно-известковистых пород и доломитов.

Перед отложением песчаников чехла породы фундамента подверглись интенсивному выветриванию, в результате образовался тонкий слой реголитов, состоящих из мелких обломков, скементированных кварц-гематит-каолиновой массой.

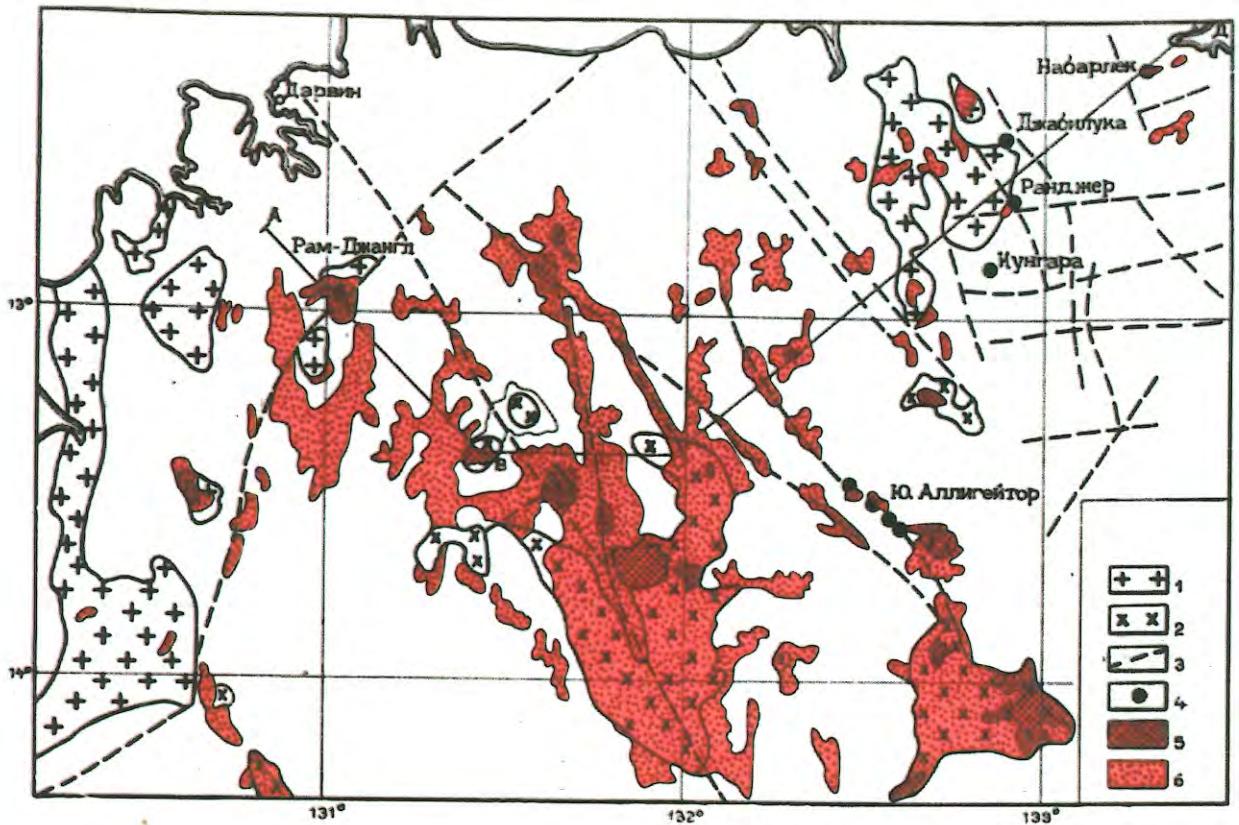


Рис. 2.6. Радиоактивные аномалии провинции Пайн-Крик [55].
 1 – архейский фундамент; 2 – посторогенные граниты; 3 – разломы; 4 – месторождения урана.
 Радиоактивные аномалии: 5 – >150 имп./сек., 6 – 100-150 имп./сек.

Месторождения выявлены в пределах пояса Аллигейтор-Риверс, проходящего вдоль западного борта комплекса Нанамбу в северо-восточном направлении. Протяженность его около 100 км при ширине 10 км. Площадь пояса примерно 1000 км².

Этот рудный пояс выделен условно. Он оконтуривает известные месторождения, но не представляет собой рудоконтролирующую структуру. Месторождение располагается вдоль западного борта прогиба Мак-Артур, где песчаники Комболджи эродированы, и месторождения выведены на дневную поверхность. В пределах этой полосы разведано пять месторождений. Кроме Джабилука и Рейнджер – месторождение Кунгарра с запасами урана 13992 т (среднее содержание – 0,564%), Набарлек (8967 т, 1,276%), Рейнджер-68 (4545 т, 0,303%).

Общие запасы урана в рудном пояссе составляют 283304 т, ресурсы оцениваются в 300 тыс. т. Площадная продуктивность 300 т/км². К крупным в пояссе Аллигейтор-Риверс отнесены два месторождения: Джабилука и Рейнджер.

Месторождение Джабилука

Месторождение открыто в 1971 г. при наземных гамmasпектрометрических поисках, детально разведано, но до сих пор не эксплуатируется. Запасы урана составляют 141107 т при среднем содержании 0,444%. На отдельных участках содержание золота достигает 12-16 г/т. Золотое оруденение не оконтурено.

Месторождение представлено пластообразной пологой стратiformной залежью, состоящей из линзообразных рудных тел. У поверхности рудные тела приобретают клиновидную форму. Простижение залежи широтное. Руды западного фланга выходят на дневную поверхность, а остальная часть залежи погружается к востоку вдоль контакта с перекрывающими песчаниками Комболджи. Ширина залежи 400-500 м, мощность до 50 м и более. Западная выходящая на поверхность часть залежи рассматривается в качестве

самостоятельного месторождения Джабилука I, а остальные – центральная и восточная – части относятся к месторождению Джабилука II.

Вмещающие породы подразделяются на две толщи – верхнюю и нижнюю. Верхняя «графитовая» толща сложена хлоритовыми и углеродистыми сланцами с будинами доломитов. Нижняя толща состоит из углеродистых и кварц-хлоритовых сланцев с прослойями доломитов и роговиков. Углеродистые сланцы содержат пирит и обогащены ураном (16 г/т). В хлоритизированных разностях пород содержание урана увеличивается до 30 г/т.

Рудные тела контролируются послойными тектоническими нарушениями разнонаправленного характера: сбросами и надвигами, их разветвлениями в изгибах рудовмещающих сланцев. На участках флексурных изгибов образовались брекчии сланцев и доломитов, в которых 50% объема приходится на пустоты с друзами кварца, карбонатов, хлорита и сульфидов. Наиболее богатые рудные тела приурочены к таким флексурным изгибам, у которых смыкающее крыло более пологое, а нижняя и верхняя части флексуры более крутые (рис. 2.7).

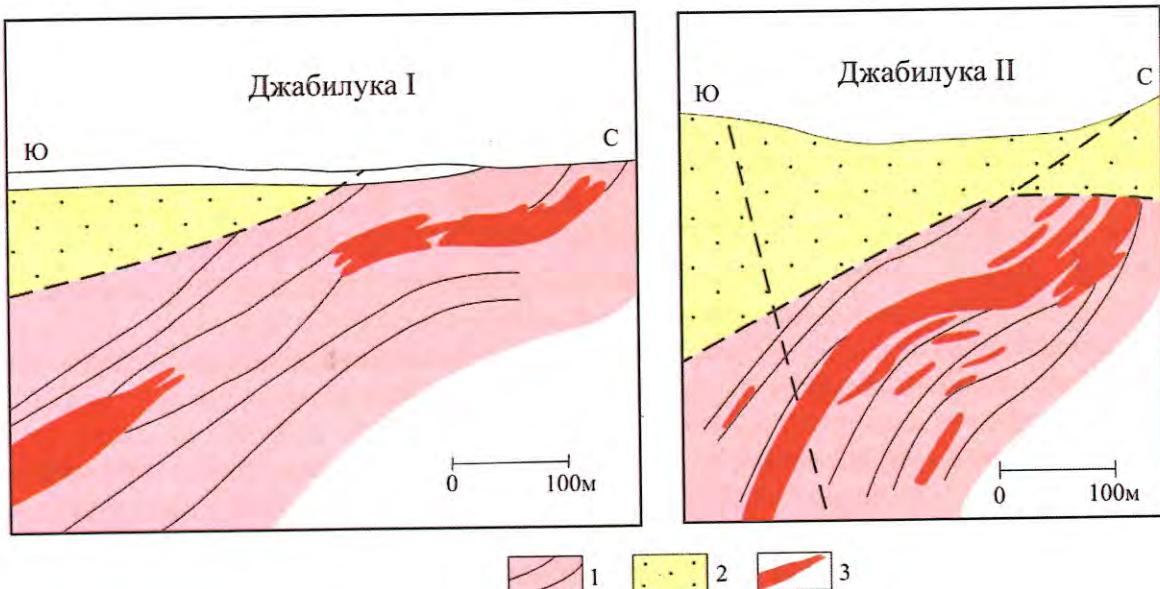


Рис. 2.7. Поперечные разрезы через месторождение Джабилука [55].
1 – горизонты кварц-хлоритовых и хлоритовых сланцев формации Кехилл; 2 – песчаники Комболджи; 3 – рудные тела

В верхней части сланцево-карбонатной толщи за счет выщелачивания карбонатов сформировались карсты, заполненные брекчиями обрушения.

Основная рудная залежь проходит в 60 м ниже верхней графитовой толщи и контролируется зоной сплошных брекчий в сланцах карбонатной толщи.

Урановые руды сложены настураном и меньше – уранинитом, которые образуют вкрапленности, прожилки, цементируют обломки брекчий, слагают массивные линзовидные скопления в интенсивно хлоритизированных породах. В верхней части рудной зоны, где развиты карсты, встречаются округлые скопления настурана диаметром до 15 см. В рудах отмечаются несколько генераций урановых минералов. Ранний настуран пересекается друзовыми жилами кварца, доломита, магнетита с небольшим количеством халькопирита, пирита, галенита и сфалерита. Самым поздним является сажистый настуран (уранные черни), образующий примазки в открытых трещинах. Золото, теллуриды свинца, никеля и кобальта выполняют трещины в настуране.

Песчаники Комболджи на контакте с рудной зоной раздроблены. Мелкие трещинки выполнены хлоритом, настураном с небольшим количеством сульфидов. Урановая минерализация не отходит далеко от контакта и не имеет промышленного значения.

В урановых рудах концентрируются те же элементы, что в других гидротермальных месторождениях провинции, связанных генетически и пространственно с гранитами: Au, Be, Cu, Pb, Zn, Se, Bi, Li, W, Hg. В промышленных количествах встречается только золото.

Ореол измененных пород охватывает всю рудоконтролирующую зону от песчаников до безрудных сланцев нижней толщи. Внешняя зона представлена диафторированными породами: биотит замещен псевдоморфным хлоритом, полевые шпаты – серицитом. Внутренняя зона сложена кварц-хлорит-септохлоритовой массой с прожилками и густой вкрапленностью настурана. От внешней зоны к богатым урановым рудам неуклонно увеличивается содержание Cu, U, Zr, Li, Y, Sc, Bo, Co, As и уменьшается – Na, K, Rb, Ba Sr.

Изохронная обработка первичных изотопно-возрастных данных [34] показывает, что наиболее древние урановые минералы имеют возраст около 1700 млн. лет, основная их масса – 900 и 500 млн. лет, а самые молодые – около 170 млн. лет. Переотложение радиогенного свинца фиксируется в период 900 ± 100 млн. лет, 500 ± 100 млн. лет и 100 млн. лет.

Температура гидротермальных растворов по данным изучения газово-жидких включений в момент рудоотложения была 150-200°C. Изотопный состав углерода, кислорода и серы указывает на смешанный характер растворов [55].

Месторождение Рейнджер

Месторождение открыто в 1969 г. при разбуривании урановой аномалии, выявленной гаммаспектрометрической съемкой. Запасы урана 119238 т, среднее содержание 0,24%. На базе месторождения работает один из самых крупных в мире уранопроизводящий цент (УПЦ). В 2005 г. было произведено 5008 т, в 2009 г. – 4444 т урана. Разведаны три крупных залежи, первая из них отрабатывается карьером, другая будет отрабатываться подземным горным способом.

Месторождение расположено в узкой полосе меридионального простирания вдоль контакта протерозойской сланцево-карбонатной толщи с мигматитами архейского выступа. Протяженность этой полосы 3 км при ширине 400-500 м.

Сланцево-карбонатная толща рассечена послойными и поперечными разломами. На площади месторождения песчаники Комболджи смыты и сохранились только под надвигом, контролирующим самое крупное первое рудное тело (рис. 2.8). В зоне разлома песчаники окварцовены и пронизаны прожилками хлорита, сульфидами и гематитом.

Руды первой залежи сосредоточены в висячем боку разлома, представленного мощной зоной рассланцевания и будинажа мраморизованных доломитов. Разлом падает к востоку под углом 40-50° и пересекается поперечными и диагональными разрывами. При формировании разломов существенную роль играли процессы выщелачивания карбонатов, что привело к образованию зон проседания вышележащих пород и интенсивной трещиноватости. В результате тектонических подвижек и выноса кремнезема и карбонатов на первой стадии гидротермального процесса образовалась крупная хорошо проницаемая полость, по которой поднимались ураноносные гидротермальные растворы, с которыми связана интенсивная хлоритизация и отложение урановых минералов. Мелкие трещины и характерные структуры коллапса выполнялись настураном, хлоритом, магнезитом и небольшим количеством сульфидов (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит). Отмечается несколько генераций настурана. В самом раннем хлорите диафторитов встречаются скелетные формы уранинита, ядра которого замещены хлоритом. В хлоритизированном биотите установлен браннерит.

При формировании урановых руд месторождения Рейнджер, так же, как и месторождения Джабилука, структурно стратиграфическое несогласие не играло существенной роли. Вдоль этой поверхности на контакте разнокомпетентных пород сланцев и песчаников образовались тектонические срывы, которые могли играть рудоконтролирующую роль. Каких-либо значительных скоплений урановых руд вблизи

поверхности «несогласия» на месторождениях провинции Пайн-Крик не отмечено. Однако увеличение содержаний урана в рудах вблизи поверхности типично для всей провинции.

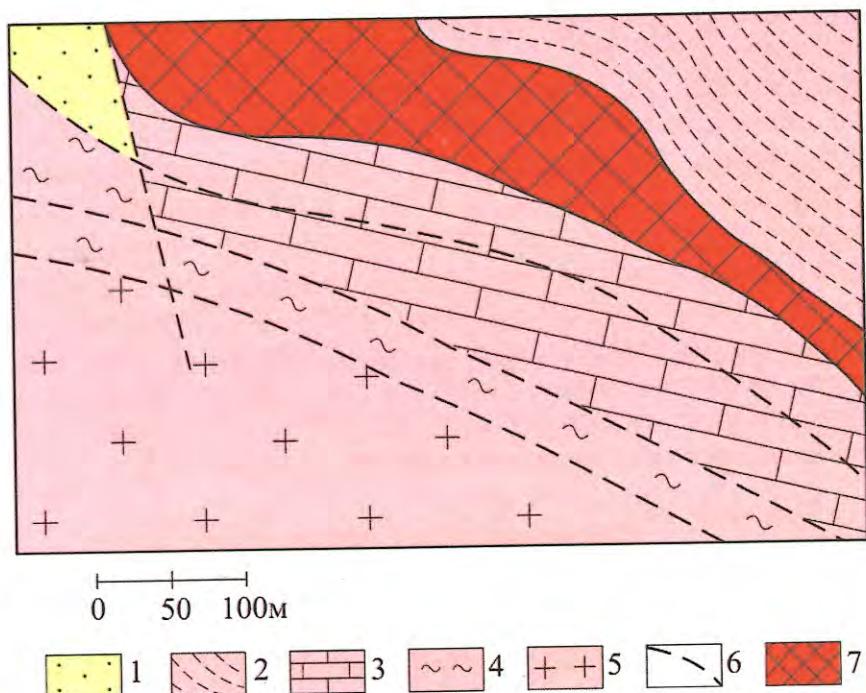


Рис. 2.8. Поперечный разрез месторождения Рейндженер-1 [55].
1 – песчаники Комболджи; 2 – сланцы висячего бока; 3 – доломиты с прослойками сланцев;
4 – сланцы лежачего бока; 5 – комплекс Нанамбу; 6 – разломы; 7 – рудное тело

Формирование зоны вторичного сульфидного обогащения с концентрацией урана впервые было отмечено на месторождении Рам-Джангл. На месторождении Набарлек (рис. 2.9) в верхней части разреза рудовмещающей толщи имеется депрессионная впадина в фундаменте (песчаники Комболджи уничтожены эрозией), выполненная пористыми брекчиями. Эта впадина в момент рудообразования была, по-видимому, заполнена поверхностными водами, которые могли смешиваться с восходящими гидротермальными растворами, как и на месторождениях провинции Атабаска. Содержание урана в верхней части месторождения Набарлек достигло 12%, тогда как в среднем на месторождении – всего 1,3%.

Сравнение условий локализации месторождений типа «несогласия» двух провинций показывает, что в провинции Пайн-Крик поверхность несогласия в качестве структурно-геохимического барьера не играет существенной роли в формировании крупных месторождений. Все они локализованы в разломах фундамента, а в песчаниках отмечается лишь незначительная по масштабам урановая минерализация. Однако платформенный чехол в течение всего фанерозоя предохранял месторождение от эрозии, и только в настоящее время, когда песчаники в районе месторождений уничтожены, урановые руды оказались на дневной поверхности, и началось их разрушение.

При формировании месторождений Джабилука и Рейндженер огромную роль играл мощный глубинный источник гидротермальных растворов и урана. Часть урана заимствовалась из пирит-углеродистых вмещающих пород. Обогащенные ураном восходящие гидротермальные растворы попадали в приповерхностную среду рудоотложения по мощным разломам. Отложение урановых минералов проходило с изменением состава растворов при взаимодействии с вмещающими породами и их дегазацией. При отсутствии контрастного структурно-геохимического барьера месторождения оказались крупными, но с рядовыми по содержанию урана рудами. И

только в верхних частях разломов в карстах, заполненных кислородными поверхностными водами, происходило окисление и выщелачивание урана, и формирование зоны вторичного обогащения с более богатыми рудами.

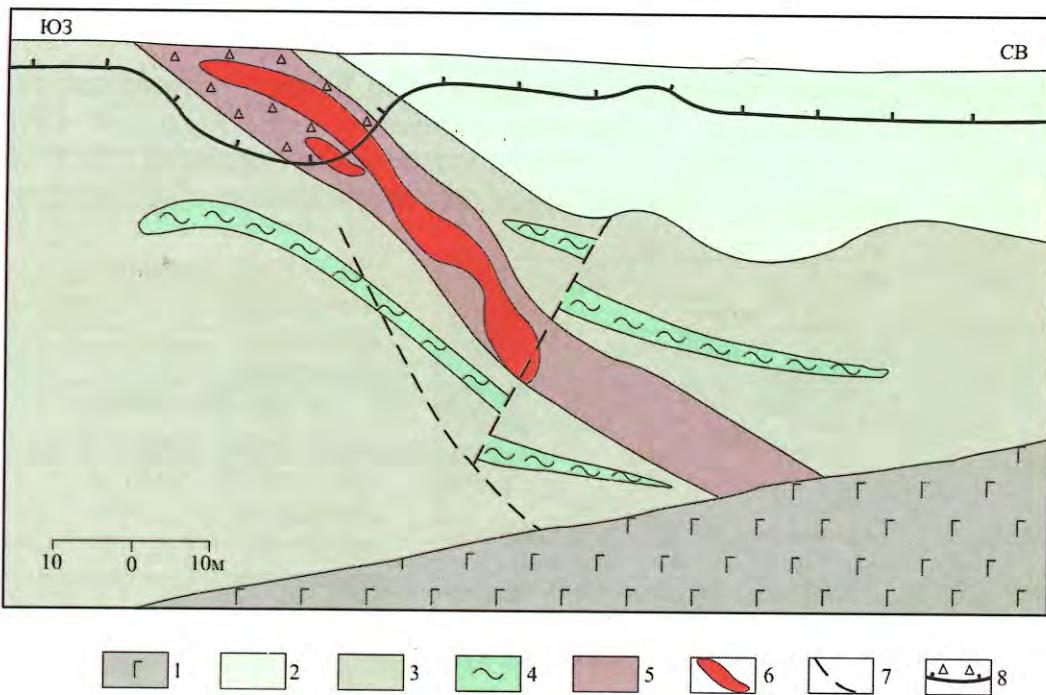


Рис. 2.9. Поперечный разрез месторождения Набарлек [55].

1 – долериты Оенпелли; 2 – слабо хлоритизированные сланцы; 3 – амфиболовые сланцы; 4 – интенсивно хлоритизированные сланцы; 5 – гематит-хлоритовая брекчия; 6 – рудные тела; 7 – разломы; 8 – граница зоны окисления

Все месторождения зоны Аллигейтор-Риверс открыты в начале 70-х гг. прошлого века. Все прошедшие 40 лет в бассейне МакАртур проводились поисковые работы с применением тех же геофизических и геохимических методов и большого объема бурения, но положительных результатов пока не получено. Объясняется это тем, что ореолы изменений и геохимические аномалии в песчаниках Комболджи, служащие в Атабаске важнейшими поисковыми признаками, проявлены очень слабо, а одни только геофизические методы не дают положительных результатов.

На территории России крупные месторождения «несогласия» австралийского типа могут быть выявлены не только в перечисленных выше рифейских прогибах, но и в прогибах на щитах любого возраста, таких, например, как венд-палеозойский прогиб в центральной части Алданского щита.

2.2. Месторождения песчаникового типа

В мире известно шесть провинций месторождений этого типа с запасами и ресурсами урана более 100 тыс. т (табл. 2.1). Крупные урановые месторождения (запасы более 50 тыс. т) имеются в четырех из них. В провинции Вайоминг разведано и отработано одно месторождение Шерли Бейсин с запасами 40 тыс. т. В Техасской прибрежной равнине выявлены только мелкие и средние месторождения урана.

2.2.1. Притяньшаньская провинция

Казахские геологи [25] выделяют ее в качестве мегапровинции, в состав которой входят Чу-Сарысуйская, Сырдарынская и Кызылкумская провинции. Геологами ВИМСа

[13] она названа провинцией и подразделена на районы. По площади (150 тыс. км²) провинция сопоставима с известными провинциями: Мали-Нигерийской (175 тыс. км²), Вайоминг (220 тыс. км²), Техасской прибрежной равниной (120 тыс. км²). По запасам и ресурсам урана Притяньшаньская провинция самая крупная в мире (1400 тыс. т). В 2010 г. в провинции добыто способом СПВ более 20 тыс. т урана. Это больше, чем произвели Канада и Австралия вместе взятые.

Два рудных района, находящиеся на территории Южного Казахстана, относят к Восточно-Турецкой провинции, занимающей восточную часть Турецкой плиты [27]. Было установлено, что региональные фронты зон пластового окисления (ЗПО) образуют единую систему, разорванную позднеорогенным поднятием Большого Карагату (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Размещение урановых месторождений Притяньшаньской провинции на территории Казахстана.

1 – промежуточный и нижний структурные этажи; 2 – верхний структурный этаж; 3 – урановые оруденения в зонах пластового окисления; 4-9 – уранодобывающие предприятия: 4 – «Казатомпром», 5 – Катко («Кожема»), 6 – Инкай («Комека»), 7 – «Нукем», 8 – КНР, 9 – Россия

2.2.1.1. Чу-Сарысуйский район. Инкай-Мынкудукский рудный пояс

Чу-Сарысуйская мезозойско-кайнозойская депрессионная структура расположена в восточной краевой части Турецкой плиты между позднеорогенными поднятиями на северо-востоке и юго-западе (Большой Карагату). Площадь района 40 000 км². Начиная с начала 60-х гг. XX века, здесь пробурено более 8 млн. пог. м скважин, в том числе более 1000 гидрогеологических скважин. Выявлено восемь урановых месторождений с запасами и ресурсами 750 тыс. т урана.

Таблица. 2.1

Крупнейшие урановорудные провинции с месторождениями песчаникового типа

№ п/п	Провинция (район)	P тыс. т	S км ²	Рудный пояс (зона, поле)	P тыс.т	S км ²	Kп т/км ²
1	Чу-Сарысуйская	750	40000	Инкай-Мынкудукский	650	2500	260
	Сырдарьинская	300	50000	Харасан-Карамурунский	250	1000	250
	Кызылкумская	350	60000	Учкудукский	90	100	900
2	Плато Колорадо	1100	350000	Грантс	800	2400	333
3	Вайоминг	220	160000	Уинд Ривер	70	1000	70
4	Техасская прибрежная равнина	160	120000	Карис	60	5000	12
5	Мали-Нигерийская	450	175000	Ахаггарский	400	1500	267
6	Чешская меловая плита	100	10000	Страж	80	200	400

Примечание: Р – первоначальные ресурсы и запасы,

S – площадь,

Кп – коэффициент площадной продуктивности.

Урановое оруденение локализовано в горизонтах верхнего мела (Мынкудук, Инкай, Буденновское, Акдала, Жалпак) и палеогена (Уванас, Канжуган, Мойнкум).

В песчаных горизонтах содержание урана превышает кларки для песчаных пород в мелу в 4,9 раз, в палеогене – в 6,7 раза [25].

Кларки превышают содержание элементов в разы: Mo – 12, Co – 42,3, Ni – 21, Cu – 9,8, Zn – 9,8, Pb – 2,7 раза. Та же специализация отмечается и в домезозойских формациях, обрамляющих депрессию. Углеродистые сланцы хр. Большой Карагату содержат до 0,008%, а пластовые фосфориты до 0,025% урана.

Самые крупные месторождения урана сосредоточены в Инкай-Мынкудукском рудном поле (Мынкудук, Инкай, Буденновское). Запасы и ресурсы урана составляют 650 тыс. т урана. Площадная продуктивность 260 т/км².

Рудные залежи контролируются региональной зоной пластового окисления, совпадающей с грубозернистыми аллювиальными отложениями реки Палеосарысу. Протяженность рудного пояса, не считая мелких изгибов, 120 км (рис. 2.11). Состоит он из сменяющих друг друга по простирации рудных залежей, объединенных условно в три месторождения.

Ролловый фронт ЗПО удален от гидрогеологического массива на многие десятки километров, что обеспечило постепенное накопление больших масс урана. Источником урана являются, по-видимому, песчаные породы водоносных горизонтов, содержащие уран в концентрациях в 5 раз превышающих кларки этих пород. В области питания пород с повышенным содержанием урана не установлено. Содержание урана в кислородных водах в момент рудообразования неизвестно, в настоящее время содержание урана находится на уровне $3\text{--}5 \cdot 10^{-6}\text{--}10^{-7}$ г/л.

Рудовмещающая толща представлена тремя горизонтами верхнемеловых отложений: мынкудукским (турон), инкудукским (низы сенона), жалпакским (верхи сенона). Каждый горизонт состоит из двух и более пачек существенно песчаных пород, разделенных глинистыми водоупорами.

Рудовмещающие горизонты не содержат восстановителей в значительных количествах. Содержание органического вещества 0,04-0,05%, серы сульфидной 0,1-0,2%.

Большие массы урана на выклинивании ЗПО могли накопиться лишь за длительное время (с позднего олигоцена до настоящего времени) в результате миграции урана на большие расстояния вдоль слабообогащенных ураном горизонтов.

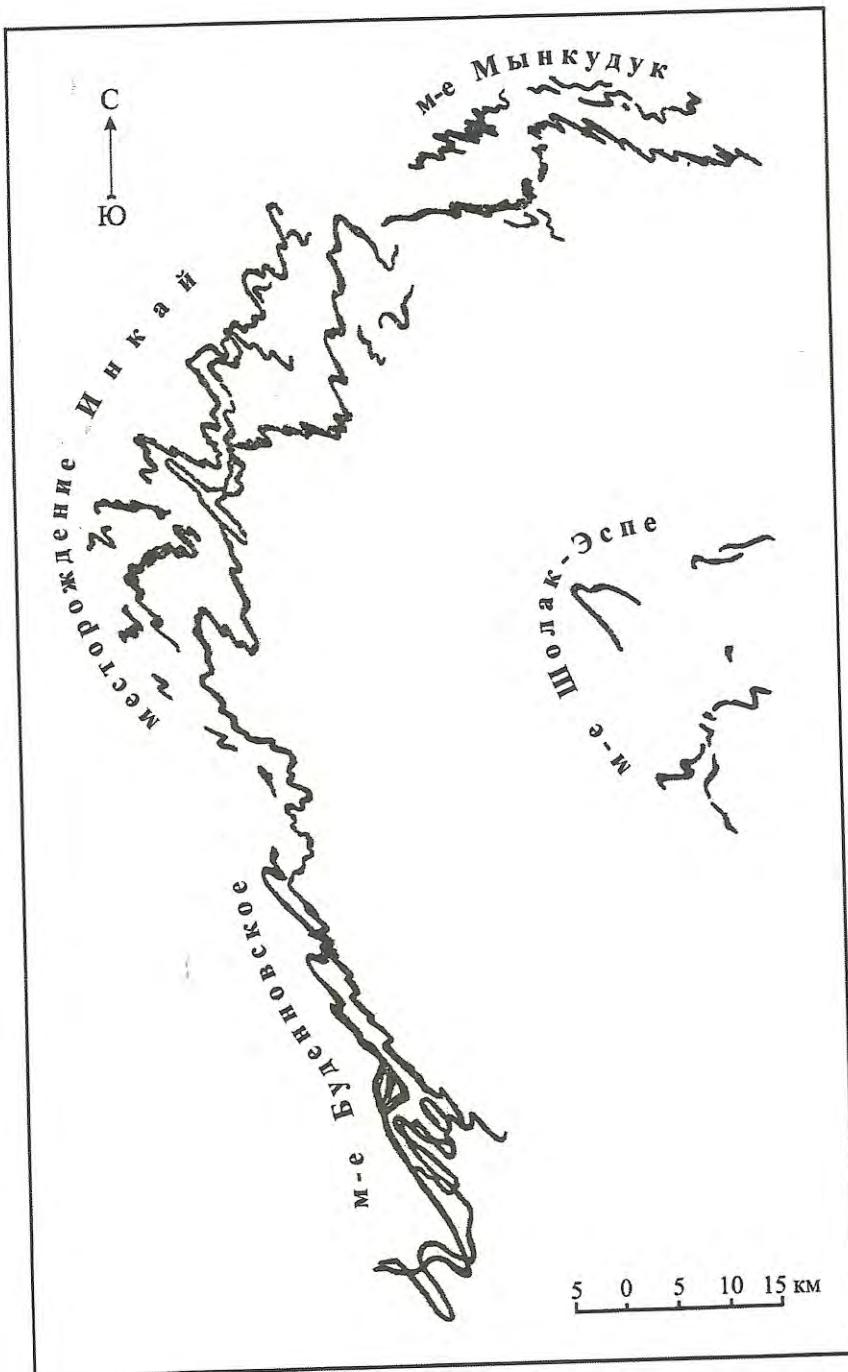


Рис. 2.11. Урановорудные залежи Инкай-Мынкудукского рудного пояса [25].

Месторождение Буденновское

Это самое крупное «песчаниковое» месторождение в мире. Его протяженность превышает 90 км. Общая оценка запасов и ресурсов 300 тыс. т урана, в том числе в южной части месторождения по категориям С₂ – 40,7 тыс. т со средним содержанием урана 0,088% (2003 г.). Все последние годы на четырех участках месторождения ведутся интенсивные разведочные работы, сопровождаемые опытными исследованиями по СПВ урана. Значительная часть ресурсов переведена в промышленные запасы. Созданы СП России и Казахстана по отработке двух участков месторождения: «Каратай» и «Акбастау».

Месторождения открыто в 1979 г. в результате поисково-рекогносцировочного бурения.

Рудовмещающими являются жалпакский, инкудукский и мынкудукский горизонты верхнего мела (рис. 2.12, 2.13).

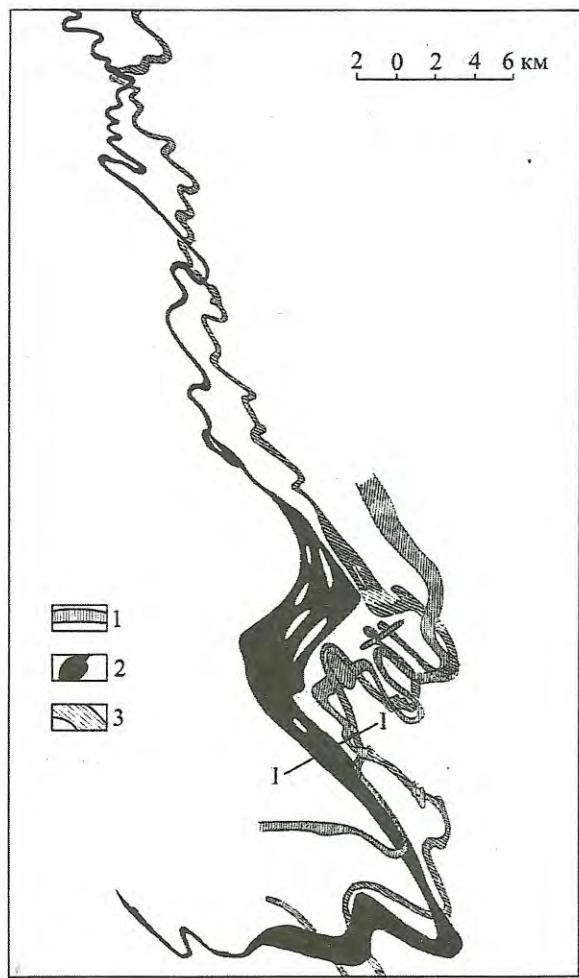


Рис. 2.12. Рудные залежи Буденновского месторождения в плане [4].
Рудовмещающие свиты: 1 – Жолпакская, 2 – Инкудукская, 3 – Мынкудукская

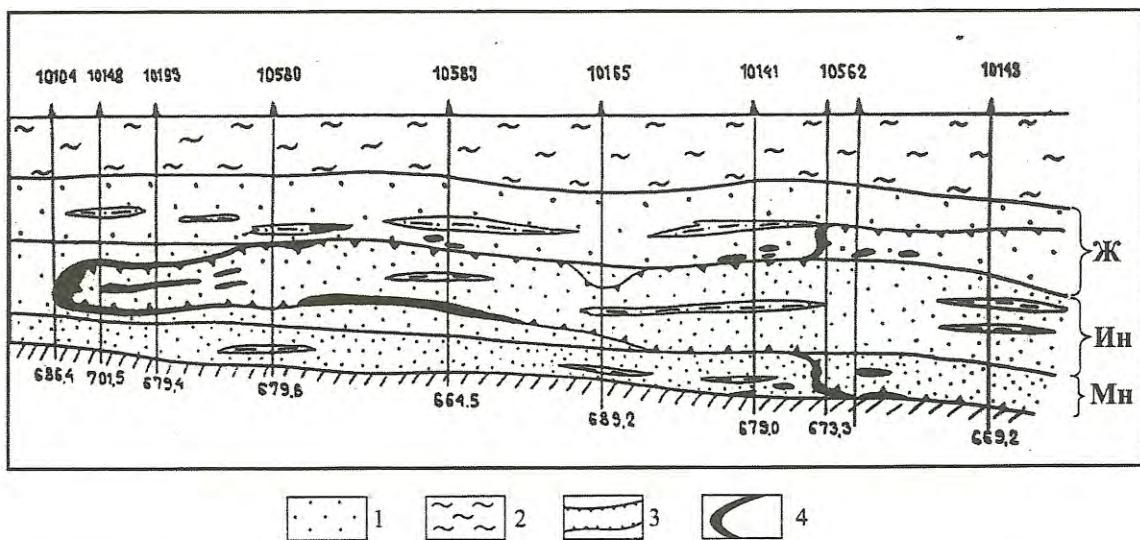


Рис. 2.13. Геологический разрез по линии I-I Буденновского месторождения [4].
1 – песчано-гравийно-галечные отложения; 2 – алевролиты и глины; 3 – границы зоны пластового окисления; 4 – урановорудные залежи. Рудовмещающие свиты: Ж – Жолпакская, Ин – Инкудукская; М – Мынкудукская

Мынкудукская свита залегает на размытой поверхности домезозойских образований и сложена мелко-среднезернистыми светло-серыми песками с прослойями глин и алевролитов. Максимальная мощность свиты 60 м.

Залегающая выше с размывом инкудукская свита характеризуется грубозернистым составом отложений, плохой сортировкой материала и разделяется на две подсвиты. В нижней (мощность 20-40 м) подсвите преобладают зеленовато-серые гравийно-галечные и песчаные отложения, сменяющиеся выше мелко-среднезернистыми песками и глинами. Верхняя подсвита (35-60 м) сложена равнозернистыми песками с гравием и глиной, вверху – песками с прослойми глин. Общая мощность свиты в направлении северо-восток-юго-запад сначала возрастает до 100-120 м, а затем сокращается до 50-30 м.

Отложения жалпакской свиты представлены преимущественно песками с примесью гравия и глины. На контакте с отложениями палеогена они окислены и приобрели розовую, бурую и пеструю окраску. Мощность свиты 50-80 м.

В районе месторождения общая мощность чехла достигает 800 м. Рудовмещающие горизонты месторождения входят в состав водоносного комплекса меловых отложений, которые подстилаются водоупорными комплексами палеозоя и перекрываются водоупорной серией глинистых отложений палеогена.

Глубина кровли водоносного комплекса 310-465 м, подошвы – 530-690 м. Общая мощность 220-245 м. Воды самоизливающиеся хлоридные и хлоридно-сульфатно-натриевые. Их дебиты изменяются от 5 до 15,7 л/с. Концентрация урана в рудной зоне до $2,5 \cdot 10^4$ г/л.

Урановое оруденение в плане образует извилистые ленты шириной от 50 м до 1,5 км и протяженностью до десятков километров. В разрезе форма рудных залежей ролловая с мощными «мешковыми» частями (до 20 м и более) и протяженными прерывистыми крыльями. Содержание урана от 0,01-0,02 до 0,4%, в среднем по отдельным залежам составляет 0,055-0,103% при средней мощности 7,4 м. Удельная продуктивность колеблется от 3,5 до 11,57 кг/м² (средняя 6,7 кг/м²).

В контурах урановорудных залежей установлены повышенные концентрации Mo (до 8-9 г/т), Re (0,04-0,27 г/т), Cu (до 120 г/т), Mn (до 0,8 г/т).

Практически весь уран сосредоточен в проницаемых песках с коэффициентом фильтрации 1,3-7,2 м/сут. Урановая минерализация представлена дисперсным окисленным настуроном, в меньшей степени – коффинитом, составляющим 8-20%. Руды бескарбонатные (CO₂ менее 0,36%). При испытаниях в режиме ПВ извлекается 80% урана при расходе серной кислоты 10-11 кг на тонну горнорудной массы.

Месторождение Инкай

Месторождение контролируется передовой частью дугообразного фронта ЗПО (см. рис. 2.11). Его южная граница с Буденновским месторождением находится в районе озерно-соровых котловин в низовьях р. Чу. На северо-востоке отмечается небольшой перерыв рудной полосы на границе с месторождением Мынкудук. Протяженность месторождения 55 км при ширине от 7 до 17 км. Месторождение открыто в 1976 г. в ходе поисково-рекогносцировочного бурения. Запасы месторождения 130 тыс. т, а вместе с ресурсами – 250 тыс. т, среднее содержание урана 0,05%. На базе месторождения создано СП «Инкай» с канадской компанией «Камеко» номинальной мощностью 2000 т урана в год.

Месторождение приурочено к мынкудукскому и инкудукскому горизонтам верхнего мела максимальной мощностью 90 и 150 м соответственно. Перекрываются безрудными песками жалпакской свиты. В разрезе рудовмещающих горизонтов преобладают сероцветные галечно-гравийно-песчаные аллювиальные отложения и пестроцветные алевролиты. Песчаным отложениям рудовмещающих горизонтов свойственны низкие содержания органического вещества (С_{орг.} 0,02-0,5%) и сульфидных минералов (0,1-0,4%).

Месторождение приурочено к осевой области мощного потока пластовых вод в отложениях верхнего мела. Подземные воды характеризуются высокими напорами на

кровлю, вплоть до самоизлива. Воды хлоридно-натриевые с общей минерализацией 0,9-4,7 г/л. Проницаемость рудовмещающих пород от 7,3 до 20,6 м/сут.

Урановые руды залегают на глубинах от 300 до 515 м и отличаются очень сложной морфологией – сильной извилистостью рудных лент, многоярусностью и роллообразными формами в вертикальном разрезе. Выделяются монороллы, сложные сдвоенные и строенные роллы, разнообразные линзы.

Протяженность залежей колеблется от 9 до 31 км, средняя ширина 250-350 м, средняя мощность 5-7,5 м. Среднее содержание урана в залежах колеблется от 0,045 до 0,063%. Средняя площадная продуктивность 4-7,5 кг/м².

Месторождение монометальное, эпизодически отмечаются повышенные содержания селена (0,01-0,03%) и рения (0,1-0,2 г/т).

Урановая минерализация представлена настураном и коффинитом в соотношении 87 к 13%. В ассоциации с настураном отмечаются пирит, сидерит, кальцит.

Руды некарбонатные (СО₂ – 0,1-0,3%). Извлечение урана способом СПВ в контурах опытного полигона составило 84,7% при расходе кислоты 24,4 кг/т.

Месторождение Мынкудук

Месторождение приурочено к широтному участку ЗПО (см. рис. 2.11). Открыто в 1973 г., детально разведано, пробурено 2,5 млн. пог. м скважин. Запасы урана 72 тыс. т, среднее содержание 0,047%.

Подстилающий комплекс палеозойских образований залегает на глубинах от 220 м на востоке, до 450 м – на западе. Оруденение локализуется в мынкудукской и инкудукской свитах, представленных аллювиальными песчаниками, гравийно-песчаными отложениями с прослойями пестроцветных и сероцветных глин. Максимальная мощность горизонтов 70 и 100 м.

Мынкудукская и инкудукская свита представляют собой гидравлически связанные горизонты с напором на кровлю от 20-50 м на востоке и до 150-170 м – на западе. Господствующее направление потока – с востока на запад. Коэффициент фильтрации пород от 2 до 15 м/сут. Состав вод существенно хлористо-натриевый, минерализация 3-6 г/л. Содержание урана в пластовых водах вдоль рудоносных зон от $5 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-4}$ г/л.

Рудные залежи слабоизвилистые, иногда прямолинейные, протяженностью до 15-20 км, шириной 25-50 до 400-500 м (редко до 1,7 км). Всего выделено около 30 залежей, большая часть – в мынкудукской свите. В поперечном разрезе залежи имеют формы простых и сдвоенно-строенных роллов и линз. Мощность изменяется от 20-25 м в «мешковой» части до 2-10 – в крыльях.

Содержание урана от 0,015-0,02% до 0,1-0,15%.

Глубина залегания подошвы залежей от 175 до 430 м (возрастает с востока на запад).

Руды коффинит-настурановые при соотношении 1:3. Минерализация развита в поровом глинисто-алевролитовом заполнителе песчаных руд. В повышенных содержаниях в рудах установлены рений (0,2 г/т) и селен (0,06 %).

Урановые руды благоприятны для отработки СПВ. Некарбонатные (СО₂ 0,1%) с низким содержанием органики (С_{орг.} 0,05%) и сульфидов.

* * *

Адаптация хорошо разработанной генетической модели формирования пластово-инфилтратационных месторождений к геологическим и гидрогеологическим особенностям Чу-Сарысуйской депрессии показывает, что этот район весьма благоприятен для накопления больших масс урана. Длительное (многие миллионы лет) просачивание на большое расстояние (многие десятки километров) от области питания артезианского бассейна до выклинивании ЗПО обогащенных кислородом вод сквозь мощную хорошо проницаемую обогащенную ураном толщу песчаных пород привело к выщелачиванию урана, его миграции и постепенному накоплению на погружающемся окислительно-восстановительном барьере. Даже без видимого внешнего источника урана (отсутствие в

области питания обогащенных ураном пород) количество урана в рудовмещающей толще является достаточным для формирования в благоприятных условиях крупных месторождений Инкай-Мынкудукского рудного пояса. Однако при отсутствии контрастного восстановительного барьера, выраженного лишь повышенным содержанием двухвалентного железа в сероцветных песчаниках (в неокисленных породах нет заметных скоплений органогенного вещества и сульфидов), руды в целом оказались бедными.

Влияние даже небольших изменений условий формирования крупных месторождений в ЗПО можно проследить на примере трех месторождений Инкай-Мынкудукского рудного пояса. От Мынкудукского месторождения к Буденновскому возрастает удаленность фронта ЗПО от области питания (Буденновское месторождение расположено уже в зоне разгрузки грунтовых вод), общая мощность и количество основных рудовмещающих горизонтов (от 50-70 до 240-250 м и от одного до трех), в южной части Буденновского месторождения в дельтовых грубообломочных отложениях появляются органические остатки. В том же направлении увеличиваются ресурсы урана (с 70 до 300 тыс. т), и несколько возрастает среднее содержание урана в рудах.

2.2.1.2. Сырдарьинский район. Харасан-Карамурунский рудный пояс

Сырдарьинский урановорудный район находится на площади одноименной депрессии и отделяется на северо-востоке Караганским антиклиниорием от Чу-Сарысуйского района, а на юге – от Северо-Ферганского рудного района.

Депрессия выполнена отложениями всех трех структурно-формационных комплексов (СФК): раннеальпийским (триас-юра), среднеальпийским (мел-палеоген), позднеальпийским (палеоген-четвертичный). Общая мощность отложений 2,5-3 км.

Сырдарьинский район расположен в пределах среднесырдарьинского артезианского бассейна, в котором выделяются три гидрогеологических этапа, соответствующие трем альпийским СФК.

Урановое оруденение контролируется системами региональных фронтов ЗПО, развитых в водоносных горизонтах верхнего мела и эоцен. Они представляют собой южное продолжение фронтов окисления, проявленных в Чу-Сарысуйском районе.

Крупное месторождение Харасан входит в состав Харасан-Карамурунского рудного пояса, объединяющего также месторождения Северный и Южный Карамурун, Ир科尔 и рудопроявление Кызылту и Алгабас.

Харасан-Карамурунский рудный пояс является южным продолжением Инкай-Мынкудукского рудного пояса. Он имеет меридиональное простижение. Протяженность более 100 км при ширине 10 км. Площадная продуктивность 250 т/км². Ресурсы и запасы урана 250 тыс. т.

Месторождение Харасан

Месторождение расположено в южной части Харасан-Карамурунского рудного пояса. Выявлено в 1979 г. Его северная часть (Северный Харасан) подготовлена к промышленному освоению, а южная (Южный Харасан) находится в разведке. Запасы урана составляют 59 тыс. т, а вместе с прогнозными ресурсами Р₁ – 164 тыс. т. среднее содержание в рудах 0,11%.

Месторождение приурочено к Карамурунскому прогибу и контролируется меридиональной ЗПО в западном борту Харасанской антиклинали. Оруденение многоярусное, рудные залежи локализованы в аллювиальных обогащенных органикой отложениях верхнего мела суммарной мощностью до 150 м. В отложениях сенона находится 30% запасов урана, 30% – в отложениях кампана и 30-40% – маастрихта. Рудовмещающие отложения подстилаются континентальными образованиями сеномана, турона и коньяка (175-200 м) и неоген-четвертичной толщи. Глубина залежи руд 600-700 м. Рудовмещающий комплекс связан с двумя горизонтами напорных пластовых вод: кампан-маастрихтским и сантонским. Представлены они разнозернистыми песками,

образующими несколько гидравлически связанных горизонтов мощностью 8-20 м. Коэффициент фильтрации отложений 6-8 м/сут. Глубина залегания пьезометрического уровня от первых метров до самоизлива. Состав вод сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный натриево-калиевый. Минерализация 0,5-0,8 г/л. Концентрация урана в водах ЗПО от $2,6 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-4}$ г/л.

Урановое оруденение образует в плане извилистые ленты протяженностью до 10 км и шириной от десятков до нескольких сотен метров. В вертикальном разрезе преобладают ролловые формы с выдержанной «мешковой» частью (до 8 м) и верхним крылом (мощностью несколько метров), средняя продуктивность – 6,32 кг/м².

В урановых рудах выявлены промышленные содержания селена. На участках, обогащенных углистым растительным детритом, отмечаются повышенные содержания ванадия (до первых %), рения (до 10 г/т), никеля и кобальта (сотые доли %), мышьяка, германия, меди, молибдена и серебра.

Руды преимущественно кварцевые (70-85%), глинистых минералов не более 5%, углистого детрита – до 1,5%, пирита – до 0,5%, кальцита и доломита – до 2%.

Урановые минералы представлены тонкодисперсными настуроном и коффинитом. Руды пригодны для отработки способом СПВ.

Месторождение Харасан отличается от других более мелких месторождений Харасан-Карамурунского рудного поля (Северный и Южный Карамурум, Ир科尔) значительно большей мощностью водоносных горизонтов и протяженностью ЗПО, а от крупных месторождений Чу-Сарысуйского района (Буденновское, Инкай, Мынкудук) – повышенным содержанием в рудоносных горизонтах углистого вещества, что, по-видимому, определило более высокое содержание урана в рудах.

2.2.1.3. Кызылкумский район. Учкудуцкое рудное поле

Урановые месторождения Кызылкумского района, занимающего площадь около 60 тыс. км², располагаются в пределах небольших депрессионных структур Центрально-Кызылкумского сводового поднятия. В пределах поднятия отмечается мозаичное сочетание горст-антиклинальных и грабен-синклинальных структур. Грабен-синклинали выполнены мел-палеогеновыми отложениями, а горст-антиклинали представляют собой выступы герцинского фундамента, в составе которого отмечаются обогащенные ураном гранитоиды и углеродисто-кремнистые сланцы.

Выступы фундамента служат гидрогеологическими водопитающими массивами, а грабен-синклинали – артезианскими бассейнами. ЗПО в водоносных горизонтах мела и палеогена обрамляют антиклинальные поднятия. Их ширина не превышает первых десятков километров, и они не могут вмещать очень крупные месторождения урана. Обычно мелкие и средние месторождения объединяются в рудное поле с одноименным крупным месторождением.

С орогенными движениями в конце олигоцена начались общее воздымание сводового поднятия, возникновение в ядрах антиклиналей областей питания, инфильтрация кислородных пластовых вод внутри артезианских бассейнов и смешение их на отдельных участках с восходящими гидротермальными растворами.

Начиная с 50-х гг. прошлого века в Кызылкумском районе выявлено, 22 месторождения урана, их оставшиеся запасы составляют около 100 тыс. т.

В Учкудуцкое рудное поле, кроме самого месторождения, входят месторождения Бахалы, Мейлисай, Кендиктюбе. Общие запасы и ресурсы рудного поля 90 тыс. т, площадная продуктивность очень высокая – 900 т/км².

Рудовмещающие меловые отложения с юга и юго-запада обрамляют выступы фундамента, сложенного гранитами Алтыктауского массива, прорывающими углеродисто-кремнистые сланцы, кварциты и доломиты палеозоя.

Меловые отложения представлены песчаниками и глинисто-песчаными осадками сеномана, турона и сенона. Пласти меловых и перекрывающих палеогеновых отложений

полого ($2\text{--}4^\circ$) погружаются на юг и рассекаются разломами северо-восточного, субширотного и северо-западного направлений. Выделяется восемь водоносных горизонтов в породах мела и палеогена, разделенные глинистыми водоупорами.

ЗПО продвинута от гранитного массива в юго-западном направлении на 2-3 км, редко до 8 км.

В рудовмещающей толще по разломам широко проявлена гидротермальная минерализация в виде жил и прожилков, окруженных околоврудными изменениями восстановительного характера. Жилки сложены кварцем, карбонатом, битумом, флюоритом, сульфидом. Температура гомогенизации газово-жидких включений в кварце $290\text{--}300^\circ\text{C}$. Такие высокотемпературные восстановительные растворы не могли не оказать влияние на урановые руды ЗПО.

Месторождение Учкудук

Открыто месторождение в 1954 г. Отрабатывалось горным способом. Разведанные запасы 51 тыс. т. Среднее содержание урана в рудных залежах колеблется от 0,03 до нескольких процентов. Всего выявлено 67 залежей, контролируемых границами ЗПО. Оруденение многоярусное. Рудные тела образуют в плане прерывистые полосы со сложными очертаниями протяженностью до 7-10 км при ширине 600-1500 м. Отдельные залежи имеют столбообразную форму. В разрезе для залежей характерны простые ролловые формы. Глубина залегания руд до 250-300 м.

Урановое оруденение локализуется во всех восьми водоносных горизонтах, разделенных алеврито-глинистыми водоупорами. Горизонты сложены морскими мелководными и аллювиальными песками турон-сантонаского возраста мощностью от нескольких до десятков метров.

На месторождении выделяются два типа урановых руд: бедные черниевые руды, контролируемые ЗПО, и рядовые (иногда богатые) гематит-настуран-сульфидные руды столбообразной формы, контролируемые разрывными нарушениями в пределах тех же ЗПО. Рядовые и богатые (до нескольких процентов) руды наложены на желтые окисленные пески, но при более поздних процессах окислительного эпигенеза эти руды разрушаются с переотложением урана в ЗПО, где содержание урана ниже 0,1%, т.е. это обычные руды для Притяньшанской провинции.

В зонах восстановительного эпигенеза урановые руды обогащены Ba (до 0,15%), Zn, Co, Pb (до 0,02%), Cu (до 0,015%) и Se (до 0,01%).

На примере Учкудукского рудного поля и других месторождений Кызылкумского района видно, что в отличие от обширных синеклиз Чу-Сарысуйского и Сырдарынского районов в небольших грабен-синклиналях формируются только средние и мелкие месторождения, но иногда они могут достигать и крупных размеров за счет более высоких содержаний урана, образующихся на контрастном окислительно-восстановительном барьере под влиянием восходящих восстановительных гидротермальных растворов.

2.2.2. Провинция плато Колорадо. Рудный пояс Грантс

Это одна из крупнейших урановорудных провинций мира с ресурсами более 1,1 млн. т.

Плато Колорадо [14, 48] представляет собой крупный блок (350 тыс. км²) Северо-Американской платформы, зажатый между молодыми складчатыми поясами. Его основанием служит докембрийский цоколь, сложенный кристаллическими и метаморфическими породами, на котором с резким несогласием залегают породы фанерозоя. Зона сопряжения плато со складчатыми поясами неоднократно подвергалась тектономагматической активизации.

В центральной, наиболее приподнятой, части плато широко развиты куполовидные поднятия, обрамляемые крупными впадинами (Сан Хуан, Уинта, Блек-Меса,

Кейпаровийс), в которых локализованы урановые месторождения песчаникового типа [16]. Наличие урановых руд установлено в 32 горизонтах.

В обрамлении плато обнаружены сотни мелких гидротермальных месторождений урана, из которых 128 отрабатывалось вплоть до 1957 г. Гранитоиды, вулканические и осадочные породы обогащены ураном.

В целом плато Колорадо является крупнейшей геохимической аномалией урана, ярко выраженной на мелкомасштабных аэрогамmasпектрометрических картах.

Практически все запасы урана в провинции Колорадо сосредоточены в месторождениях песчаникового типа. Эти месторождения встречаются в породах возрастом от карбона до мела, но основные запасы установлены в двух формациях: позднетриасовой Шинли и позднеюрской Моррисон. Самое крупное урановое месторождение США расположено в рудном поясе Грантс.

В рудном поясе Грантс было сосредоточено 700 тыс. т запасов и ресурсов урана, здесь добыто около 40% всего урана США. Протяженность пояса 160 км, ширина 15 км. Площадная продуктивность 330 т /км². Кроме месторождения Амброзия-Лейк отрабатывались средние и мелкие месторождения: Шипрок, Чуска, Галлая, Черч-Рок, Смит-Леди, Пойсон-Каньон, Маунт-Тейлер, Лагуна, Маркиз, Мариана-Лейк, Бернабе-Монтано. На месторождениях действовало более 100 рудников, добыто более 100 тыс. т урана.

Первые месторождения были открыты в 1950 г. вдоль южного края бассейна Сан-Хуан. Первоначально этой площади было присвоено название «Южный минеральный пояс Сан-Хуан Бейсин». Бассейн Сан-Хуан занимает площадь 38500 км². С юга и юго-запада расположено поднятие Зуни, сложенное докембрийскими гранитами и метаморфическими породами. Осадочные породы бассейна с возрастом от верхнего карбона до верхнего мела залегают моноклинально с падением на северо-восток под углами 3-5° и осложнены мелкими складками и разрывными нарушениями.

В восточной части бассейна толща осадочных пород прорвана комплексом интрузивных и экструзивных пород третичного и четвертичного времени (рис. 2.14).

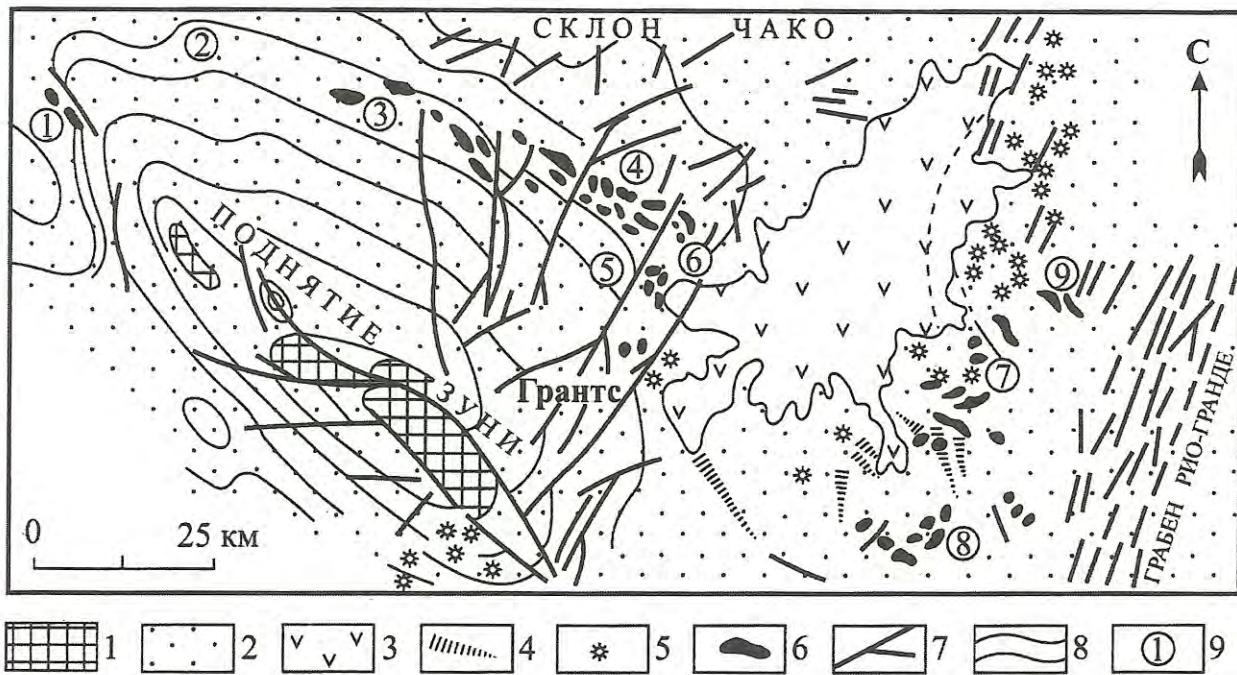


Рис. 2.14. Минеральный пояс Грантс [37].

1 – выходы докембрийского фундамента; 2 – мезозойские породы; 3 – вулканическое поле Маунт-Тейлер; 4 – дайки основных пород; 5 – некки; 6 – урановорудные залежи; 7 – сбросы; 8 – изогипсы базального горизонта меловых отложений; 9 – месторождения: 1 – Галлап, 2 – Черч-Рок, 3 – Смит-Лейк, 4 – Амброзия-Лейк, 5 – Пойсон-Каньон, 6 – Маунт-Тейлер, 7 – Норт-Лагуна (Джекпайл, Пагуэт), 8 – Саут-Лагуна, 9 – Бернабе-Монтано

Урановые месторождения локализуются в полосе, параллельной южной границе бассейна Сан-Хуан. Внутри пояса крупные месторождения чередуются с мелкими, образуя рудную полосу. Рудные залежи внутри месторождений также расположены в виде лент, параллельных главному направлению простирации пород.

Урановые месторождения пояса Грантс отличаются от месторождений ЗПО Казахстана значительной ролью эндогенных эпигенетических процессов и углеродистого вещества в формировании уранового оруденения.

Месторождения характеризуются не только большими запасами, но и довольно высокими содержаниями урана.

Месторождение Амброзия-Лейк

Месторождение выявлено в 1955 г. при проведении поисково-оценочных и ревизионных работ на карнотитовое оруденение в минеральном поясе Сан-Хуан Бейсин. Запасы урана оценены в 120 тыс. т. Ресурсы урана точно не установлены, но, по-видимому, превышают 200 тыс. т. Месторождение разрабатывалось открытым и подземным горным способами 32 рудниками, отстающими друг от друга на расстоянии от 0,5 до 4 км.

Рудные залежи приурочены к формации Моррисон позднеюрского возраста. Аллювиально-делювиальные отложения этой формации вмещают 98% всех запасов. Небольшие рудные тела известны в позднеюрских известняках Тодилто (рис.2.15).

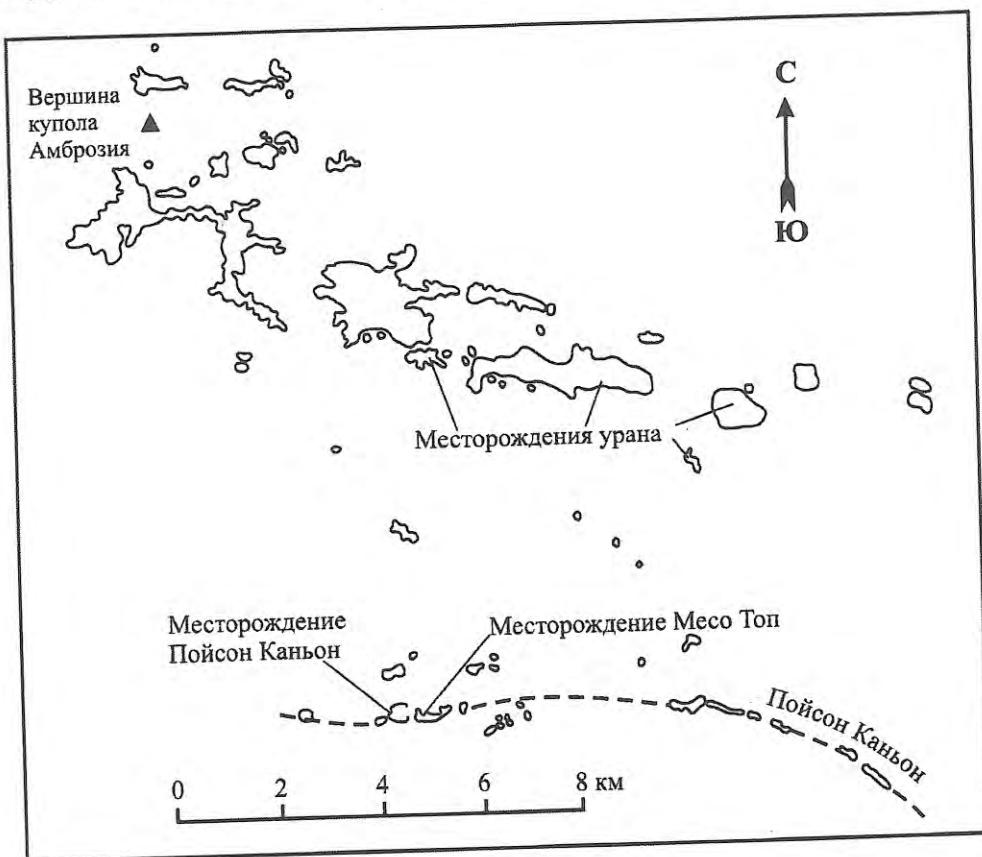


Рис. 2.15. Карта района Амброзия-Лейк с нанесенным контуром распространения урановых месторождений в формации Моррисон [37]

Формация Моррисон на месторождении представлена тремя горизонтами (снизу вверх): Рекпачер, Вествотер Каньон и Браши-Бейсин (рис. 2.16).

Рекпачер сложен переслаивающимися серо-зелеными аргиллитами, темно-серыми глинистыми песчаниками и тонкозернистыми светло-серыми песчаниками. Мощность 30-50 м.

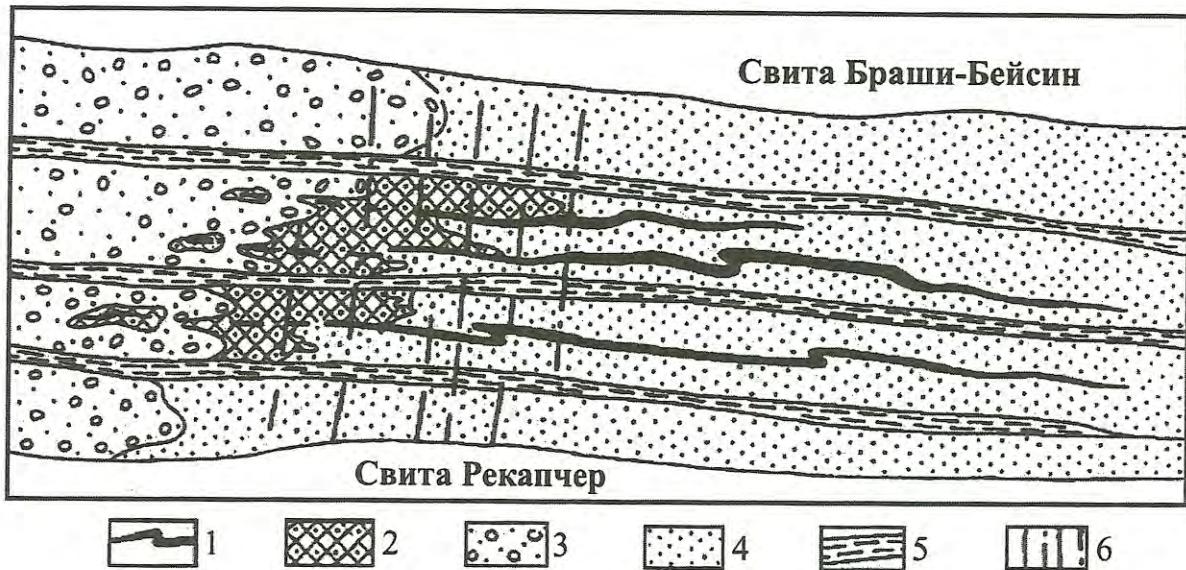


Рис. 2.16. Разрез месторождения Амброзия-Лейк. Морфология досбросовых и послесбросовых рудных тел [16].

1 – пластовые рудные тела; 2 – рудный столб (послесбросовый); 3-5 – породы свиты Вествотер-Каньон: 3 – песчаники окисленные, 4 – песчаники неокисленные сероцветные, 5 – аргиллиты; 6 – зона разломов

Вествотер представлен аллювиальными аркозовыми песчаниками с прослоями аргиллитов. Горизонт имеет ритмичное строение. Внизу каждого ритма – конгломераты и косослоистые песчаники, вверху – мелковзернистые песчаники и аргиллиты.

Браши-Бейсин сложен ритмично чередующимися алевролитами и аргиллитами. В линзах песчаников, особенно в гематитизированных, содержание урана достигает 9 г/т.

Породы формации Моррисон обогащены углеродистым веществом двух типов: углефицированными растительными остатками в виде обломков и фрагментов растений и битуминизированными органическим веществом типа асфальтита.

Установлены высокие содержания урана в углефицированном органическом веществе.

Рудные тела залегают на различных стратиграфических уровнях в двух верхних горизонтах формации Моррисон. Это пластообразные и линзообразные тела, объединенные в линейновытянутые залежи. Протяженность залежей от сотен метров до 10 км, ширина – от сотен метров до 2 км. Мощность – первые десятки метров.

На месторождении выделяются два типа руд: «досбросовые» и «постсбросовые».

Досбросовые руды представлены наиболее крупными пласто-линзообразными и лентообразными рудными залежами. Залежи послойные и кососекущие. В разрезе наиболее типичны роллы с протяженными крыльями. Длинные оси рудных тел ориентированы по направлению транспортировки осадочного материала. Руды сложены коффинитом, углеродистым веществом, пиритом, иордизитом и хлоритом. Коффинит образует тонкие сростки с углеродистым веществом. В нижней части пластов отмечается кальцит нескольких генераций, цементирующий песчаник. Из глинистых минералов преобладает иллит. Границы рудных тел четкие. В красных окисленных песчаниках на контакте с рудой отмечается кайма осветления, гематит остается только в реликтах, появляется пирит. В нижних частях рудоносных пластов плагиоклаз песчаников замещается новым чистым альбитом, а ранее образованный иллит и монтмориллонит – хлоритом. Углеродистое вещество, имеющее явно наложенный характер, образует обогащенные участки, несогласные со слоистостью. В богатых ураном рудах с содержанием до 1% оно замещает кварц и глинистые минералы. В рудах отмечается повышенная концентрация Se, Ni, Co, As, Ta, Sb и РЗЭ. Содержания ванадия не превышает 0,1%.

Постсбросовые руды образуют рудные столбы мощностью до 30 м и такую же протяженность по простиранию. Они имеют несогласные с напластованием пород границы, тяготеют к сбросам и отличаются сложной прихотливой формой. Руды характеризуются черной окраской, сложены коффинитом и оксидами урана, ассоциирующими с монтрозеитом, пиритом, марказитом и баритом. Углеродистое вещество, как правило, отсутствует. Кальцит развит в цементе песчаников и в трещинах. Руды обогащены ванадием и селеном.

Окисленные руды обоих типов сложены ванадатами урана – тюяунитом, карнотитом, отенитом. Самородный селен в них отмечается в виде красных кристаллов. Широко развит каолинит.

Среднее содержание урана в рудах Амброзии-Лейк составляет 0,22%, но во всех таких рудах выделяются значительные по размерам богатые участки с содержанием урана 0,5-0,85%.

Выделяются три этапа формирования урановых руд. Наиболее ранний из них датируется рубидий-стронциевым методом по хлориту – 135 ± 8 млн. лет при возрастах вмещающих пород 140 ± 5 млн. лет. Крупные залежи «досбросовых» руд на ряде участков образовались 110-115 млн. лет назад. «Постсбросовые» рудные залежи имеют возраст около 60 млн. лет.

По поводу генезиса, особенно «досбросовых» руд, нет единой точки зрения. Судя по минеральному составу и кососекущему характеру «досбросовых» руд, они напоминают полигенные руды провинции Пайн-Крик в Австралии. Возможно, что и здесь имело место смешение магнезиальных гидротермальных растворов с подземными водами. Уран, по-видимому, накапливался в песчаных породах вместе с растительным детритом, который претерпел изменения в процессе диагенеза и под влиянием связанных с вулканизмом гидротермальных растворов.

В смешанных растворах уран вместе с измененным органическим веществом мигрировал вдоль окисленных хорошо проницаемых горизонтов и отлагался в восстановительной обстановке, образуя асфальтиты. Возраст первичных руд (нижний мел) близок к возрасту формирования осадков.

«Постсбросовые» руды сформировались позже в палеогене в зонах пластового окисления в результате разрушения первичных руд и дополнительного выщелачивания урана кислородными водами из рудовмещающих песчаников.

* * *

Факторы, определяющие формирование крупных рудных залежей и месторождений, таких как Амброзия-Лейк, в рудном поясе Грантс, являются с одной стороны типичными для месторождений песчаникового типа, а с другой – специфическими.

К типичным факторам относятся: наличие крупного артезианского бассейна с мощными песчаными водоносными горизонтами, определяющими многоярусность ЗПО и рудных залежей, большое расстояние от гидрологического массива до фронтов ЗПО, длительность рудообразования (от нижнего мела до палеогена).

Специфическими факторами, определяющими не только размеры (запасы) месторождений, но и качество руд (содержание урана достигает 0,85%, при среднем 0,22%), являются: наличие мощных разнообразных источников урана (высокая «зараженность» ураном всей провинции, обогащенность ураном пород в областях проявления эпигенетических восстановительных процессов, накладывающихся на окисленные рудовмещающие породы, контрастный окислительно-восстановительный барьер, обусловленный большим количеством растительного детрита (крупных фрагментов растений и тонкораспыленного органического вещества).

2.2.3. Мали-Нигерийская провинция. Ахаггарский рудный пояс

Эта одна из крупнейших урановых провинций мира. Здесь с начала 70-х гг. прошлого века добыто 110 тыс. т урана, оставшиеся запасы составляют порядка 280 тыс. т. Общие запасы и ресурсы оцениваются в 450 тыс. т урана. Все месторождения локализованы в прогибе Тим Мерсои, примыкающем с запада к крупному выступу докембрийского фундамента (массив Аир).

Массив Аир неоднократно подвергался тектономагматической активизации. В его центре докембрийские сланцы и гнейсы прорваны гранитами дамарского типа (возраст 600 млн. лет). Наиболее интенсивная ТМА проявилась в верхнем карбоне (295-298 млн. лет), с которой связано проявление урановой минерализации. Вулканиты и граниты обогащены ураном. В витрокластических туфах содержание урана – 0,002%, ZrO₂ – до 0,25%. Они легко разрушаются в коре выветривания с выносом этих элементов.

Массив Аир испытывал периодические воздымания, подвергался эрозии и служил хорошим источником урана для гидрогенных месторождений.

Бассейн Мерсои площадью 175 тыс. км² сложен перемежающимися морскими и континентальными осадками, которые накапливались на протяжении палеозоя, мезозоя и карбона (рис. 2.17). Тонкозернистые морские отложения неоднократно сменялись грубозернистыми прибрежными и континентальными. После временных перерывов накапливались мощные грубообломочные дельтовые отложения. Нижний палеозой (кембрий-ордовик) представлен нефтеносными сланцами, девон – песчано-глинистыми морскими отложениями, карбон – алювиальными отложениями, осадками озер и лагун. В мезозое морские и континентальные песчано-глинистые отложения перемежаются с обогащенными ураном кислыми вулканитами. В осадочных породах присутствует большое количество органических остатков вплоть до углей.

В настоящее время синеклиза представляет собой блюдцеобразный прогиб с очень пологим падением пород к юго-западу от массива Аир. В южном направлении глубина прогиба достигает 2,5 км. Если в северной части прогиба на поверхность выходят породы ордовика и девона, то в южной части – триаса, юры и мела.

Ложе прогиба осложнено горстами и грабенами. В 50 км к западу от массива Аир проходит меридиональный горст, в пределах которого по разломам породы фундамента в виде узкого вала приподняты на несколько сот метров. Это так называемый линеамент Азауа, играющий большую роль в локализации уранового оруденения (рис. 2.18). Над валом сохраняется весь разрез от карбона до мела, но мощность отложений значительно сокращается, и глубина залегания нижних горизонтов уменьшается до 300-500 м. При подходе к горсту с запада и востока горизонты осадочных пород приподнимаются и образуют флексуру, благоприятную для локализации уранового оруденения.

Оруденение приурочено к 12 горизонтам грубообломочных пород от девона до верхнего мела. Самые крупные месторождения залегают в двух горизонтах нижнего карбона и верхней юры. В нижнем горизонте нижнего карбона локализованы крупные и самые богатые месторождения. Самое крупное из них – Акаута, отрабатываемое подземным горным способом на руднике Коминак. В верхнем горизонте карбона расположено крупное месторождение Арлит, отрабатываемое карьером рудника Сомаир.

Нижнекарбоновые месторождения, возможно, образованы в верхнекарбоновую эпоху ТМА. Они залегают в темноцветных неокисленных породах, залежи имеют форму роллов. Рудовмещающие породы метаморфизованы, руды плохо проницаемы, и для них непригоден способ подземного выщелачивания.

Самое крупное месторождение провинции Имоуарен залегает в самом верхнем горизонте юры. Оно известно с 70-х гг. прошлого века, но не разрабатывалось из-за низких содержаний урана (0,08-0,11%). Контролируется оно зонами пластового окисления. Породы ниже роллового фронта обогащены органикой и пиритом.

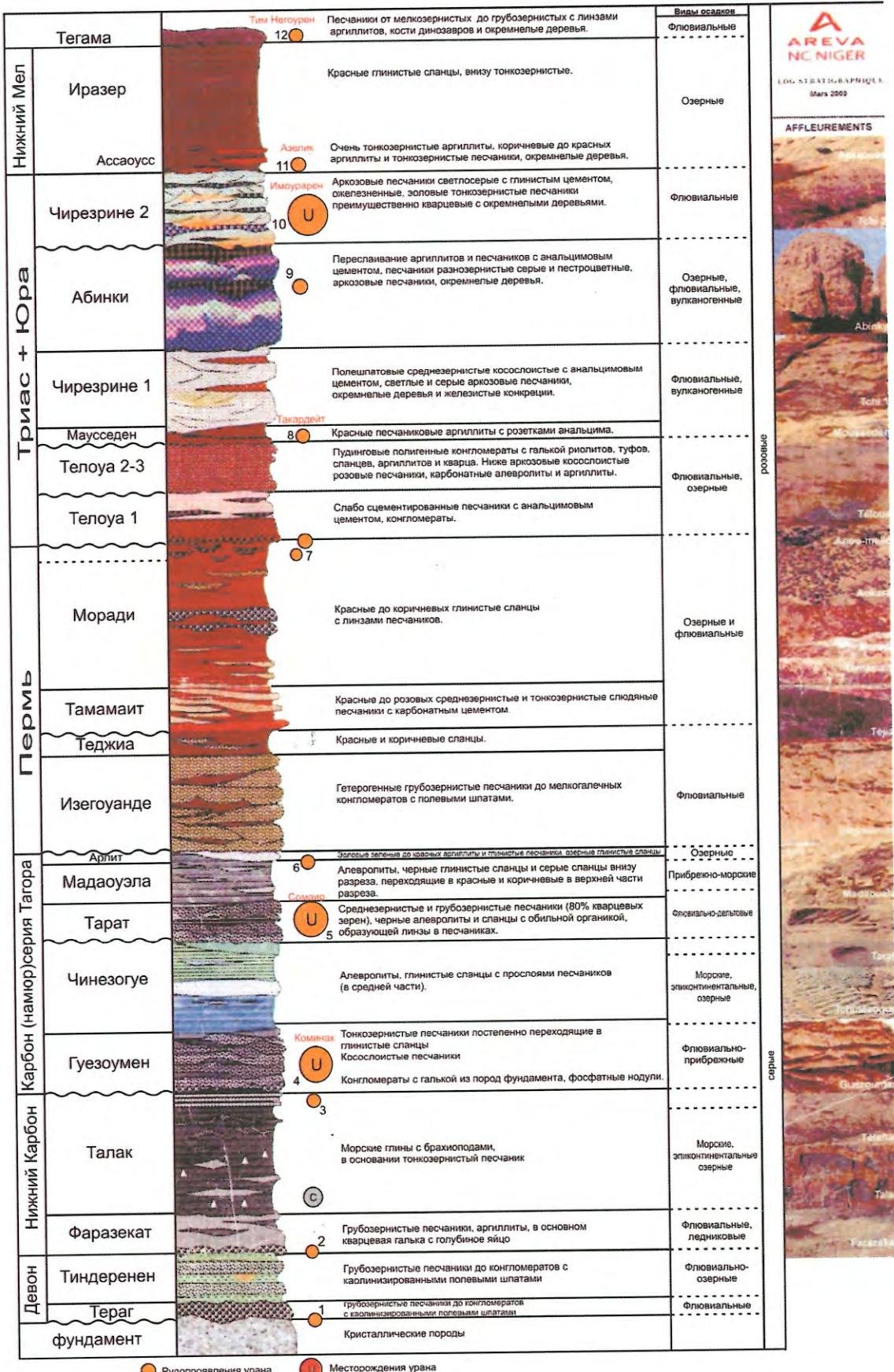


Рис. 2.17. Стратиграфия бассейна Тим Мерсои (Нигер) [52].

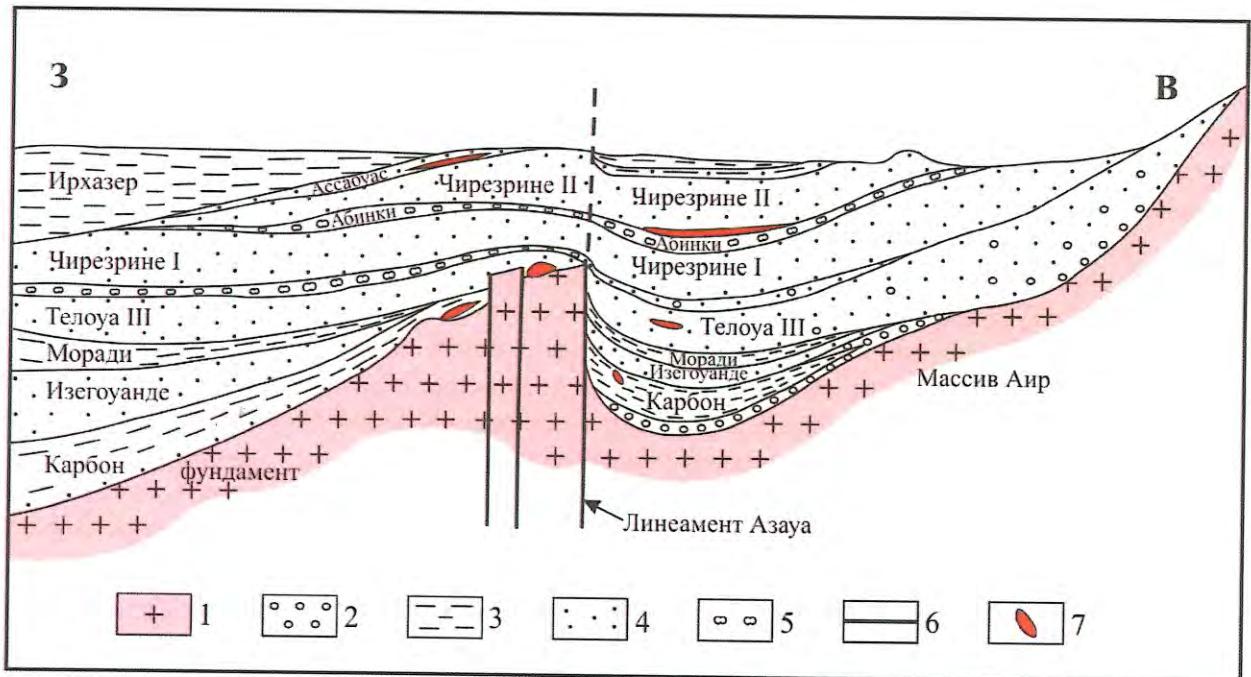


Рис. 2.18. Схематический поперечный разрез бассейна Тим Мерсои и положение урановых месторождений [49].

1 – докембрийский фундамент; 2 – конгломераты; 3 – аргиллиты, глинистые сланцы; 4 – песчаники; 5 – окремнельные деревья и другие органические остатки; 6 – разломы; 7 – месторождения урана

Месторождения рудников Коминак и Сомаир и месторождение Имоуарарен приурочены к Ахаггарскому рудному поясу, примыкающему к линеаменту Азауа. Ресурсы урана Ахаггарского пояса протяженностью около 100 км и шириной 10-15 км оцениваются в 400 тыс. т. Площадная продуктивность рудного пояса 270 т/км².

Месторождение Акуата

Выявлено месторождение при специализированном геологическом картировании м-бов 1:200 000 и 1:50 000 в 1958-1959 гг.

С 1980 г. эксплуатируется подземным горным способом. В 2006 г. добыто 1929 т урана. Принадлежит компании Коминак. Первоначальные запасы 100 тыс. т, среднее содержание урана 0,45%.

Месторождение контролируется впадиной в фундаменте, ограниченной разломами субмеридионального и северо-западного простирания. Выделяется три участка. Самая крупная залежь северного участка приурочена к синклинали с осью северо-восточного простирания. Длина ее 2 км, ширина 0,5 км. Мощность от 2 до 14 м. Залежи Южного и Центрального участков имеют меридиональное простирание и контролируются ЗПО. Общая протяженность залежей 2,5 км, ширина извилистых лент – от 50 до 300 м. Глубина залегания месторождения 235-265 м от дневной поверхности.

Рудовмещающими породами служат средне-тонзозернистые песчаники с прослойями аргиллитов, относящиеся к формации Гуезуман нижнего мела (визей). Отложения этой формации выполняют дельту палеореки, разветвляющуюся в юго-западном направлении на отдельные рукава. В песчаниках, особенно в аргиллитах, много (до 2%) тонкораспыленного органического вещества (углефицированные остатки растений).

Породы литифицированы, очень плотные, слабопроницаемые. Горные выработки в них проходятся без крепления, водоприток очень низкий.

Урановые руды пластовой формы, приурочены к отдельным горизонтам песков, разделенных прослойями аргиллитов. Цвет рудных песчаников темный, однородный.

Кварцевые обломки средней окатанности. Цемент базальный, представлен монтмориллонитом и другими глинистыми минералами.

Урановые минералы – настурит, настуран и коффинит – в разных количественных отношениях встречаются в виде тонкой вкрапленности в цементе песчаников и замещают остатки растений. Массивный настурит иногда наблюдается в виде сферолитов диаметром до нескольких сантиметров в ассоциации с пиритом, марказитом и мельниковитом. В рудах, кроме того, установлены иордизит, ванадит, сфалерит, галенит, халькопирит, кальцит, селенит и самородная сера. Настурит и уранинит содержат повышенные содержания ZrO_2 (3-5%) и V_2O_5 (1-3%).

В некоторых зонах в горизонтах песчаников темная урановая руда контактирует с рыхлыми окисленными песчаниками.

Изотопно-свинцовый возраст сферолитов настурита 338 ± 5 млн. лет. Он близок к возрасту отложений песчаников нижнего карбона [46].

По мнению французских специалистов [46, 52], источником урана были зоны выветривания пород фундамента массива Аир. Первоначально уран концентрировался вместе с органикой в дельте реки и прибрежной лагуне, затем он был ремобилизован кислородными водами в ЗПО.

Окислительный фронт продвигался на восток вглубь артезианского бассейна от массива Аир и в западном направлении от меридиональной зоны разломов. В результате концентрации урана на окислительно-восстановительном барьере рудные залежи приобрели современные контуры: стратиформные пластовые тела и тела роллового типа. Характерны резкие границы между богатой рудой и безрудными песчаниками. В результате ТМА фундамента на границе карбона и перми под воздействием термальных вод восстановительного характера, поднимающихся по «сквозным» разломам, рудовмещающие породы были литифицированы и подвержены восстановительному эпигенезу, граница между окисленными и неокисленными породами в ЗПО была затушевана.

Месторождение Арлит

Выявлено в 1958 г. Разрабатывается карьером с 1971 г. В 2008 г. добыто 1743 т урана. Принадлежит компании Сомаир. Первоначальные запасы 143 тыс. т с содержанием урана 0,25%. Глубина залегания руд 35-100 м.

Вмещающие породы формации Тарат нижнего карбона (намюр) представлены грубозернистыми песчаниками, переслаивающимися с алевролитами и глинистыми сланцами. Мощность формации от 9 до 55 м. Породы Тарат отлагались на эродированной поверхности подстилающих аргиллитов вдоль депрессий, связанных с разломами меридионального, северо-восточного и северо-западного простирания. Главное направление впадины – СВ 40°.

Три разрозненных участка, получивших самостоятельные наименования (Арлетта, Ариега и Артоис) расположены в треугольнике со сторонами 1500-1500-1000 м, отдельные пластообразные залежи шириной 600 м и мощностью 25 м состоят из многоярусных прослоев, приуроченных к грубозернистым горизонтам песчаников, разделенных тонкими слоями и линзами алевролитов. Ролловые формы залежей не отмечаются даже на участках, где ясно фиксируются переотложения урана.

Урановая минерализация представлена настуритом и коффинитом в равных соотношениях, ассоциирующих с пиритом, марказитом. Каёмки настурита обволакивают зерна кварца. В очень богатых рудах настурит и коффинит полностью замещают цемент песчаников. В окисленных рудах отмечаются тюямуниит, франсвиллит и карнотит в ассоциации с гематитом и каолинитом. В первичных рудах выявлен ванадиевый хлорит, сфалерит и галенит, несколько повышенено содержание молибдена и ванадия. Настурит содержит до 3% ZrO_2 (3-5%) и 1% V_2O_5 .

Изотопный возраст настурана 197 ± 63 млн. лет и около 150 млн. лет. Температура гомогенизации газово-жидких включений $120-175^{\circ}\text{C}$.

По генезису Арлит не отличается от Акауты: сингенетическое накопление урана в песчаниках, богатых растительными остатками, и его переотложение в ЗПО в виде богатых стратиформных залежей, изменение пород и руд восстановительными эпигенетическими растворами.

Месторождение Имоуарен

Расположено месторождение в 80 км южнее района Арлит и в 50 км западнее массива Аир. Открыто в 1966 г., но до сих пор находится в разведке. Данные о запасах противоречивы: по данным Министерства горного дела Нигера [49] – 143 600 т урана со средним содержанием 0,11%. Глубина залегания руд 105-165 м.

Вмещающие породы – флюидальные песчаники юрского возраста формации Чирезрине 2, залегающие на анальцимовых породах формации Абинки и перекрытые аргиллитами нижнего мела. В разрезе чередуются грубозернистые, мелкозернистые косослоистые и среднезернистые песчаники. Тонкозернистые песчаники содержат анальцим. Песчаники перемежаются с анальцимовыми аргиллитами. Цемент песчаников представлен вторичным кварцем, хлоритом, диккитом и анальцимом. Для всего месторождения характерно присутствие разноцветного, серого, коричневого, зеленого и розового анальцима.

Формация Чирезрине 2 выполняет троговую впадину меридионального простирания, ограниченную с запада разломом Арлит, с севера – разломом Мадаузла и с юга – разломом Магаги. Трог выполнен аллювиальными и озерными осадками.

Размеры месторождения 8x5,5 км. Рудные залежи мощностью от 7 до 15 м расположены на трех уровнях. Общая мощность многоярусного оруденения 50 м, ширина 1100 м.

Руды сложены главным образом минералами шестивалентного урана. Наиболее распространен уранотил. Редко встречаются коффинит и настуртан. Коффинит в зоне восстановленных пород ассоциирует с халькозином, халькопиритом, самородной медью и настуртаном. Уранотил ассоциирует с хризоколлой, реже – с теноритом и болтвудитом. В небольших количествах отмечаются кальцит, барит, гипс и коллофанит.

В локализации оруденения значительную роль играет ЗПО, но границы окисленных и первичных пород нечеткие. Можно предположить наличие ролловых структур с очень широкой мешковой частью и тонкими короткими крыльями.

О вулканическом источнике урана свидетельствует большое количество в рудах анальцима. Накопление урана происходило в благоприятных восстановительных условиях богатых растительностью лагун и озер. Сингенетические руды подвергались окислению под действием богатых кислородом пластовых вод.

* * *

Главными факторами формирования крупных месторождений с богатыми рудами являются полихронность и полигенность оруденения. При наличии богатых источников урана в массиве Аир большие его массы накапливались в дельтовых, лагунных и озерных отложениях совместно с большим количеством органического материала. В процессе диагенеза формировались крупные сингенетические месторождения, позже преобразуемые в ЗПО. Высокая контрастность геохимического барьера, вызванная воздействием восстановительных термальных вод, обусловило образование богатых руд.

Главная особенность бассейна Тим Мерсои – необычайная длительность его формирования (от нижнего палеозоя до конца мезозоя). За это время в примыкающих регионах Африки происходили весьма значительные геологические события, и проявилось несколько эпох орогенеза, которые не могли не отразиться на особенностях урановых месторождений, среди которых выделяются три типа.

В конце карбона произошло формирование Мавританского орогенного пояса. Рудовмещающие нижнекарбоновые отложения подверглись литификации и были превращены в плотные слабопроницаемые песчаники и глинистые сланцы. Окисленные красноцветные породы в ЗПО под влиянием восстановительного эпигенеза приобрели темную окраску. Исчезла граница окислительно-восстановительного фронта, урановые руды были перекристаллизованы (*первый тип руд*).

На границе юры и мела в бассейне проявилась отраженная ТМА, приведшая к литификации и складчатости рудовмещающих юрских отложений и значительно слабее, проявленному восстановительному эпигенезу. В результате месторождения изменились, но все же сохранили облик, присущий месторождениям ЗПО (*второй тип руд*).

Нижнемеловые рудовмещающие породы испытали только диагенез, и урановые месторождения несут отчетливо сингенетически-диагенетический характер (*третий тип*).

2.2.4. Чешская меловая плита. Стражский блок

Урановорудная провинция Чешской меловой плиты расположена на севере Чехии и юго-востоке Германии. Платформенные образования верхнего мела залегают резко несогласно на породах фундамента и представлены пестрой по составу песчано-глинистой толщей. Урановое оруденение локализуется в песчаных горизонтах мела [7, 35].

Площадь провинции всего 10 тыс. км². На территории Чехии известны месторождения Гамр и Страж, сливающиеся в одно крупное месторождение с запасами урана 70 тыс. т. В пределах Германии – месторождение Кенингштайн с запасами урана около 28 тыс. т. Оба месторождения практически отработаны способом СПВ (частично горным способом) и в настоящее время проводится их рекультивация.

Стражский блок занимает площадь всего в 200 км². Отработанные запасы урана вместе с оставшимися в недрах оцениваются в 80 тыс. т. Площадная продуктивность 400 т/км². Район приурочен к сложному узлу пересечения Рудногорской зоны глубинных разломов серо-восточного направления с разломами Лабской зоны северо-западного простирания. В палеогене и неогене в пределах Чешской меловой плиты широко проявился базальтовый вулканализм, сыгравший определенную роль в формировании уранового оруденения.

Месторождения Гамр и Страж

Рудовмещающими являются породы верхнего мела (сеномана) мощностью 150 м, представленные мелко- и среднезернистыми песчаниками, конгломератами, гравелитами, алевролитами. Отложения относятся к делювиально-пролювиальной фации мелких водоемов (болот и озер), к осадкам прибрежного мелководья и открытого моря. Породы обогащены углефицированными растительными остатками и содержат тонкие прослои углей. Для них характерно повышенное содержание урана.

В результате альпийской тектономагматической активизации меловые отложения были интрудированы вулканическими породами в форме даек и неков щелочных базальтов. Внедрение базальтов происходило в две фазы: ранний палеоцен (10 млн. лет) и олигоцен-миоцен (35-17 млн. лет).

В пределах месторождений выделяется три структурно-морфологических типа рудных залежей [7]. Первый тип представлен субгоризонтальной залежью с выдержанной мощностью и четкой стратиграфической приуроченностью к глинистому слабопроницаемому горизонту, насыщенному органикой и пиритом. Урановые минералы выражены оксидами и нингиоитом. Вблизи тектонических крутых нарушений отмечается обогащение ураном до 0,5% и более. В таких участках появляются гидроциркон и апатит. Залежь образовалась в результате сингенетического накопления урана в верхнемеловое время и более позднего привноса урана гидротермальными растворами.

Залежи второго типа имеют пласто- и линзовидную форму, небольшую мощность и рядовые содержания урана (около 0,1%). Вмещающие породы каолинизированы. Рудные тела контролируются узлами пересечения постмеловых тектонических нарушений. Формирование залежей второго типа связывают с олигоцен-плиоценовой ТМА и гидротермальной деятельностью.

Положение залежей третьего типа определяется развитием ЗПО. Руды приурочены к границе лимонитизированных (окисленных) и неизмененных пород и имеют форму роллов и маломощных пластов с низкими содержаниями урана (менее 0,1%). Эти залежи формировались уже в четвертичное время.

Во всех рудных залежах урановые минералы представлены дисперсными урановыми чернями и метаколлоидным ураносодержащим цирконом, реже – настураном, коффинитом и нингиоитом. Отмечены повышенные содержания сульфидов. Выделено три технологических типа руд: настуран-черниевые, настуран-черниево-цирконовые и существенно цирконовые. Извлечение из них урана в условиях СПВ составляет 70, 45-70 и 40% соответственно.

Урановые руды формировались в три этапа [7]. В первый этап возникла главная рудная залежь. Ее четкая стратиграфическая приуроченность к горизонтам песчаников, обогащенных органическим веществом, накопление урана в виде собственных минералов и сорбции на глинистых, титановых минералах и органике, обогащение руд ураном и цирконием вблизи тектонических нарушений в ассоциации с гидрослюдами, хлоритом и пиритом позволяют предполагать диагенетически-гидротермальный генезис руд. Возраст по соотношению изотопов свинца в галенитах соответствует меловому периоду.

Во второй этап образованы более мелкие залежи в связи с олигоцен-плиоценовой ТМА, выраженной во внедрении базальтов и проявлении поздних разрывных нарушений. Оруденение является эпигенетическим и наложенным на каолинизированные породы. Изотопный возраст настурана из этих руд 5-9 млн. лет.

В третий этап образовались типичные роллобразные залежи, контролируемые ЗПО. Процесс их формирования продолжается до настоящего времени.

Таким образом, по условиям формирования урановые руды месторождений Стражского блока следует относить к полигенным и полихронным.

Крупные месторождения урана в Стражском блоке образовались несмотря на сравнительно небольшие мощности рудовмещающих водоносных горизонтов и небольшие расстояния от области питания до фронтов ЗПО, в благоприятных условиях, выраженных наличием двух источников урана – гранитов и гидротермальных растворов, высокой контрастностью восстановительного барьера в результате накопления органики и пирита в рудовмещающих толщах, широким проявлением термального восстановительного эпигенеза.

* * *

Перспективы выявления крупных месторождений песчаникового типа далеко не исчерпаны. Последние крупные урановые месторождения песчаникового типа внутри известных провинций были обнаружены в начале 80-х гг. прошлого века (Буденновское, Харасан в Притяньшанской провинции). За последние 30 лет все эти провинции изучены настолько детально, что открытие в их пределах новых крупных месторождений маловероятно. Все находки последних лет приходятся на небольшие депрессионные структуры – мелкие грабен-синклинали и палеодолины, в пределах которых локализуются мелкие и в редких случаях средние по запасам месторождения.

Крупные песчаниковые месторождения урана могут быть выявлены только в пределах новых провинций и на больших глубинах, о возможности существования которых мнения геологов расходятся. Тем более, что глубина залегания рудных залежей рентабельных для отработки способом ПВ, по-видимому, не должна превышать 1 км.

Все известные месторождения этого типа приурочены к шельфу древних морей и локализованы в прибрежно-морских и дельтовых отложениях. Поэтому и шельфы

современных морей и океанов, находящиеся в аридной климатической зоне, перспективны для выявления урановорудных провинций. Урановое оруденение в крупных осадочных бассейнах было выявлено при опоисковании их на нефть. Возможно, что активно развивающиеся в настоящее время геологоразведочные работы на шельфе приведут к открытию новых месторождений урана. Особенно благоприятными в этом отношении выглядят шельфы западных побережий Южной Африки и Австралии, а также шельфы морей Северного Ледовитого океана.

На территории России не известны урановые месторождения, приуроченные к крупным синеклизам платформенного чехла. Установлены лишь мелкие месторождения в мезо-кайнозойских отложениях палеорусел. Ураноносность более древних отложений практически не изучена, хотя распространность в них обстановок, благоприятных для формирования уранового оруденения, очень широкая и охватывает значительную часть территории страны. Одна из необходимых предпосылок для образования гидрогенных месторождений урана – существование аридного климата.

В мезозое-кайнозое аридная климатическая обстановка охватывала лишь южную часть страны, ее северная граница проходила в широтном направлении через южные части Западно-Сибирской и Русской платформ. В палеозойскую эру пояса аридного климата имели северо-восточную, а в начале, даже меридиональную, ориентировку. Поэтому аридные обстановки охватывали огромные площади и занимали в различные периоды всю Русскую платформу, Урал, Южное Зауралье, Восточно-Сибирскую платформу и Дальний Восток. С учетом этого положения для поисков крупных месторождений урана песчаникового типа перспективны чехлы крупных древних выступов Русской платформы (Воронежский массив, Тиманский кряж, Башкирский антиклиниорий, южный склон Балтийского щита), обрамления Восточно-Сибирской платформы, в том числе северное, охватывающее шельф Северного Ледовитого океана, а также чехлы срединных массивов Дальнего Востока (Колымский, Охотский и др.). Локальные площади на указанных территориях можно выделить на основе специализированного картирования и палеореконструкций благоприятных структурных обстановок.

2.3. Месторождения в комплексе гематитовых брекчий

Месторождения и рудопроявления этого типа пока известны только в единственной Южно-Австралийской провинции, и хотя ураноносные брекчии широко распространены на древних щитах, самостоятельных промышленных концентраций урана в них не установлено, за исключением тех случаев, когда они являются частью месторождений известных типов. Таких, например, как гидротермальные штокверковые и метасоматические.

2.3.1. Южно-Австралийская провинция

В пределах провинции, занимающей площадь 200 тыс. км², выделяется рудный пояс Олимпик Дэм и рудный район Эмбеймент, разделенный на два рудных блока: Маунт-Пейнтер и Брокен-Хилл (рис. 2.19). Железо, медь, уран, золото выявлены в брекчиях рудного пояса Олимпик Дэм и блоке Маунт-Пейнтер [56]. Установлена пространственная, а, возможно, и генетическая связь ураноносных брекчий с позднепротерозойскими микроклиновыми гранитами (1590 млн. лет).

В блоке Маунт-Пейнтер в начале прошлого века было обнаружено несколько мелких месторождений урана (Маунт-Пейнтер, Маунт-Джи, Радиум Рендж), которые отрабатывались в 20-х гг. XX века на радий, а в 40-х – на уран.

В рудном поясе Олимпик Дэм эксплуатируется одно крупнейшее в мире комплексное месторождение, и разведано несколько рудопроявлений (табл. 2.3.1).

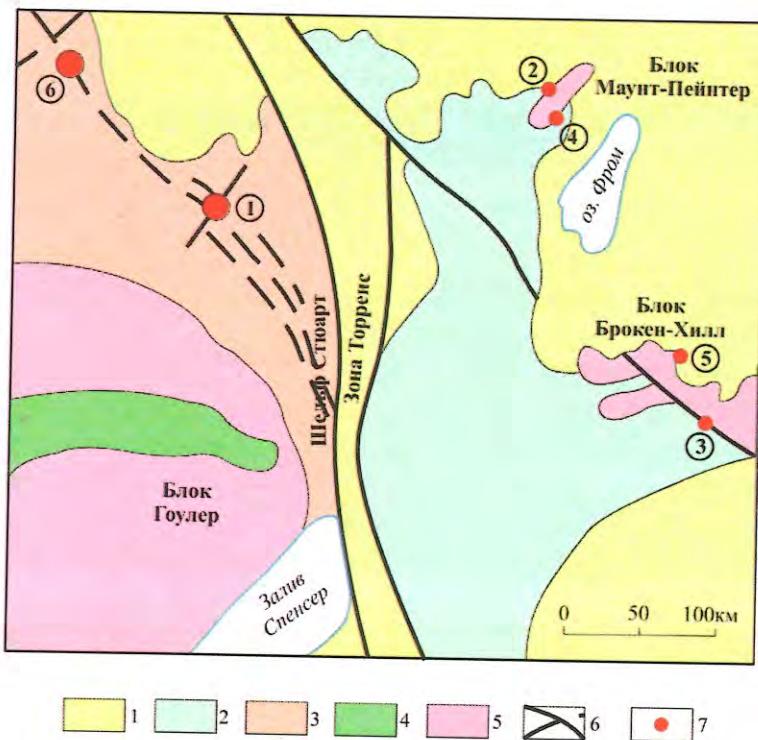


Рис. 2.19. Схема геологического строения Южно-Австралийской провинции [56].
 1 – фанерозойский чехол; 2 – складчатая область Аделаида; 3 – чехол аделаиды; 4 – вулкано-интрузивный комплекс; 5 – выступы архей-раннепротерозойского фундамента; 6 – разломы; 7 – месторождения: 1 – Олимпик Дэм, 2 – Маунт-Пейнтер, 3 – Радиум-Хилл, 4 – Биверли, 5 – Брокен-Хилл, 6 – Проминент-Хилл

Запасы руды и среднее содержание металлов в месторождениях
и рудопроявлениях рудного пояса Олимпик Дэм

Таблица 2.3.1

Месторождение (рудопроявление)	Запасы руды, млн. т	Среднее содержание, %		
		U	Cu	Au
Олимпик Дэм	9,0	0,03	0,87	0,33
Проминент-Хилл	0,2	0,01	1,23	0,50
Оак Дэм	не опр.	0,069	0,3	-
Каррапатена	0,25	0,02	1,3	0,50

Все рудопроявления контролируются системой разломов Торренс, разделяющей складчатую область Аделаида и докембрийский кратон Гоулер, перекрытый платформенным чехлом (шельф Стюарт). Система сбросов (раздвигов) проявлена в виде цепочки грабенов, заполненных тектоническими брекчиями.

В районе Эмбеймент ураноносные брекчии и позднепротерозойские обогащенные ураном граниты послужили источником для гидрогенных месторождений урана (Биверли, Четвертая миля, Хонимун, Калкуру).

Месторождение Олимпик Дэм

В плане месторождение занимает изометричную площадь (2x2 км), от которой отходят отростки в северо-западном направлении длиной 2,5 км и шириной 500 м, а в широтном направлении – длиной 1,5 км и шириной 1 км. Общая площадь месторождения – 6,67 км². Протяженность в северо-западном направлении 5 км. Разведано до глубины 800 м от поверхности и 500 м – от основания платформенного чехла. Самое глубокое пересечение по скважинам 1400 м. Запасы урана по литературным данным колеблются в

широких пределах в зависимости от методов подсчета и проектов отработки. По официальным данным МАГАТЭ запасы урана составляют 1,8 млн. т, запасы и ресурсы только под шахтную отработку – 2 млн.т. Площадная продуктивность – около 300 тыс. т урана на 1 км².

Запасы урана и золота считаются только в контуре медных руд, самостоятельные урановые залежи не выделяются. Связано это с технологией переработки руд. Руды переплавляются на медь, из которой выделяются золото и серебро, а из шлаков – уран. По оценке недропользователя (BHP Billiton) среднее содержание урана в 9 млрд. т руды составляет 0,02%, меди – 0,82% и золота – 0,32 г/т.

В центральной части месторождения тектоническое брекчирование сопровождалось вулканической и фумарольной деятельностью. Брекчии пересекаются дайками основного и кислого состава и покрываются вулканокластическим материалом.

От периферии к центру месторождение сложено: брекчированными гранитами, гранитными брекчиями, гранит-гематитовыми брекчиями, гематитовыми брекчиями, гематитовым ядром и гематит-кварцевыми брекчиями (рис. 2.20).

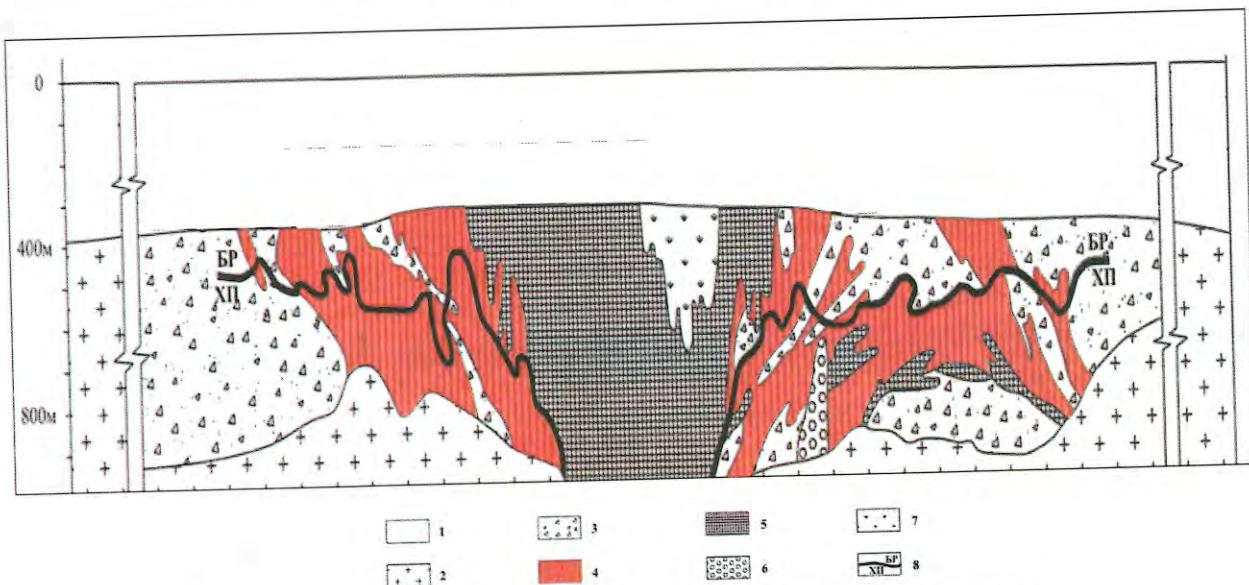


Рис. 2.20. Схематический разрез через месторождение Олимпик Дэм [56].
 1 – осадочный чехол (верхний протерозой-кембрий): кварциты, песчаники, сланцы, известняки, конгломераты; 2 – граниты (средний протерозой) комплекса Роксби-Даунс; 3 – гранитные конгломераты; 4 – гранит-гематитовые брекчии с медью и ураном; 5 – гематитовые брекчии; 6 – долериты; 7 – вулканокластические породы; 8 – граница раздела борнитового и халькопиритового оруденения

Медно-уранные руды приурочены только к внешним гранит-гематитовым брекчиям и залегают как в виде пластиобразных горизонтальных залежей, так и виде секущих жилообразных тел.

Последовательность формирования брекчий хорошо видна в обнажениях Маунт-Пейнтер, аналогичных брекчиям Олимпик Дэм.

Все брекчии образуются в результате заполнения диагональной системы периодически возникающих трещин отрыва гидротермальными ассоциациями минералов. На первом этапе трещины гранитов заполняются гематитом (рис. 2.21 А). С увеличением интенсивности процесса гематит метасоматически замещает обломки гранитов, в результате образуются брекчии, состоящие из редких обломков гранитов, скрепленных сплошной массой гематита. На втором этапе возникает новая система диагональных трещин отрыва того же направления. Трещины выполняются ассоциацией рудных минералов, среди которых преобладают сульфиды (рис. 2.21 Б).

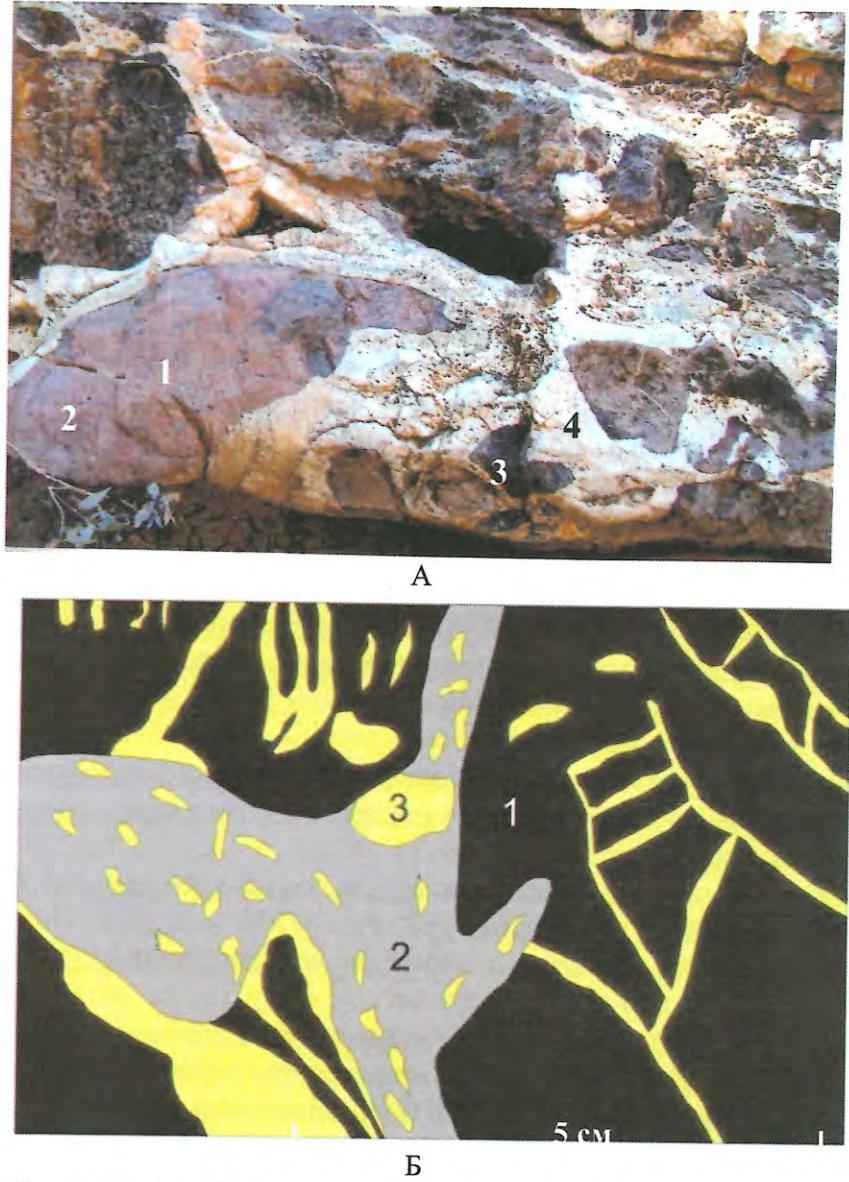


Рис. 2.21. Брекчии Маунт-Пейнтер.

А – гранит-гематит-кварцевая брекчия. Фото обнажения.

1 – обломки гранитов; 2 – прожилки гематита; 3 – сплошные массы гематита; 4 – молочно-белый кварц.
Б – гематит-сульфидная брекчия. Зарисовка полированного образца.

1 – сплошная масса гематита; 2 – зонки трещиноватости, выполненные мелкими обломками гематита, хлоритом, серицитом; 3 – прожилки и гнезда сульфидов с тонкой вкрапленностью уранинита и коффинита

На третьем этапе, который имеет самое широкое развитие и охватывает не только всю зону брекчий, но выходит во вмещающие граниты, формируются довольно крупные трещины отрыва опять того же направления, заполняемые молочно-белым кварцем.

Главный механизм формирования брекчий – выполнение ассоциациями гидротермальных минералов открытых полостей трещин отрыва. Признаков тектонического сжатия – милюниты, глинка трения – не отмечается. В верхней части месторождения не все открытые трещины заполнены минеральным веществом, и при новых тектонических подвижках происходило обрушение – так называемый гравитационный коллапс.

В период формирования брекчии выходили на палеоповерхность, о чем свидетельствует наличие эфузивных пород, лапиллиевых туфов и пеплов. В центре грабена образовалось некое подобие вулканического кратера, куда прорывались напорные гидротермальные растворы.

В результате взаимодействия, богатых кислородом поверхностных вод и гидротермальных растворов сформировалась вертикальная и горизонтальная минералогическая зональность. По составу парагенетических ассоциаций минералов можно выделить четыре зоны:

1. Глубокие горизонты и периферия грабена.
2. Гематит-гранитные брекчии, окаймляющие богатое гематитом центральное ядро.
3. Внешняя зона ядра.
4. Гематит-кварцевое ядро.

В первой зоне внутри зерен гематита отмечаются ядрышки магнетита. Магнетита в гематит-гранитных брекчиях до 20%. Наиболее распространены гематит, кварц, барит и бастнезит. Отмечаются хлорит, флюорит, пирит, халькопирит, уранинит и браннерит.

Во второй зоне развиты гематит, серицит, хлорит, барит, борнит, пирит, халькопирит, халькоzin, самородная медь, уранинит, браннерит, коффинит и бастнезит.

В третьей зоне встречаются гематит, серицит, флюорит, барит, кварц, самородная медь, золото, уранинит и бастнезит.

Четвертая зона представлена гематитом, кварцитом, баритом и бастнезитом.

Уран имеет положительную корреляционную связь с медью. Медно-урановое оруденение развито во второй и третьей зонах и отсутствует в первой и четвертой зонах. По всему разрезу в рудах присутствует уранинит, являющийся самым распространенным урановым минералом. Браннерит отмечается только в рудах первой и низах второй зон. Коффинит встречается в верхней части второй зоны.

Предполагается [56], что граница раздела халькопиритовых и борнитовых руд (см. рис. 2.20) ограничивает снизу область смешивания гидротермальных растворов с поверхностными кислородными водами.

Уран имеет, безусловно, магматогенно-гидротермальное происхождение, и возраст оруденения почти совпадает с возрастом гранитов (1590 млн. лет). Поступление такого огромного количества меди и урана в довольно узкое пространство путем выщелачивания из вмещающих пород трудно себе представить. К тому же, не установлено каких-либо масштабных процессов изменений пород в окрестностях месторождения, приводящих к выносу урана. В то же время воздействие мощного мантийного плутония на земную кору выражается в изменении гипсометрического положения сейсмических границ, в том числе включая границу Мохо, установленную в районе месторождения сейсмическим профилированием [2].

Образования гигантского по запасам месторождения определилось сочетанием мощного потока гидротермальных растворов, выносящих из глубин мантии железо, медь и уран, и наличием большой хорошо проницаемой структуры, заполненной сверху богатыми кислородом поверхностными водами. Гидротермальные растворы, по-видимому, не содержали высоких концентраций урана, что и выразилось в образовании бедных руд.

Основным поисковым признаком, используемым в Южной Австралии при поисках аналогичных месторождений, является совпадение локальных магнитных и гравитационных аномалий на участках скопления больших масс железа и электромагнитные аномалии, связанные с разуплотненными породами разломов системы Торренс. Таким образом, в 1975 г. было выявлено месторождение Олимпик Дэм и другие рудопроявления.

В других странах целенаправленных специализированных работ на этот тип месторождений не проводились. Это трудные объекты для мелкомасштабных поисков из-за относительно небольших размеров и больших глубин залегания под мощным платформенным чехлом, а детальные аэрогеофизические съемки на обширных территориях требуют больших затрат.

Месторождения типа Олимпик Дэм приурочены к рифтогенным разломам в краевых частях древних платформ на границе с позднепротерозойскими и

раннепалеозойскими складчатыми поясами. Такую обстановку можно предполагать в регионе южного выступа Восточно-Сибирской платформы, в так называемом Иркутском «амфитеатре», где на орогенном поясе байкальской складчатости сформировались многочисленные грабены, позже перекрытые отложениями платформенного чехла.

Привлекает внимание Кодаро-Удоканский прогиб, где обогащенные ураном граниты прорывают богатые медью песчаники. По мнению Г.В. Афанасьева [2], рудогенную обстановку типа Олимпик Дэм можно предполагать в Онежском регионе в зоне Главного Карельского разлома, в зоне Ничатско-Большехинганского линеамента на Восточно-Сибирской платформе.

2.4. Жильные и штокверковые месторождения

По классификации МАГАТЭ эти месторождения относятся к двум типам: жильному и вулканическому. В данной работе к типу жильных отнесены только классические жильные, залегающие в любых породах, но образованные путем выполнения открытых полостей минералами гидротермального происхождения. К штокверковому типу отнесены также гидротермальные месторождения, при формировании которых примерно равную роль играли процессы выполнения открытых полостей и метасоматическое замещение пород. Вмещающими породами штокверковых месторождений могут быть не только вулканические породы, но и породы любого состава.

Крупные жильные и штокверковые месторождения известны в урановорудных провинциях срединных массивов и их складчатых обрамлениях. Крупные штокверковые месторождения выявлены также в тектоно-вулканических структурах активизированных складчатых поясов Монголо-Забайкальской провинции.

2.4.1. Провинция Чешского срединного массива и его обрамления

Эта провинция – одна из крупнейших урановорудных провинций мира, расположенная на территории Чехии и южной Германии. Ресурсы провинции оцениваются примерно в 450 тыс. т урана [6, 35].

Известно три крупных (Пришибрам, Шлема-Альберода и Шмирхау) и несколько десятков средних и мелких месторождений. Рудногорский район провинции можно считать родиной урана. Здесь он был впервые открыт как химический элемент (1789 г.), и здесь же впервые началась добыча урановых руд (1841 г.). В 1898 г. Пьер Кюри и Мария Кюри-Складовская в рудах Яхимовского месторождения обнаружили новые химические элементы – радий и полоний.

Ядро Чешского срединного массива сложено докембрийскими кристаллическими породами – гнейсами и мигматитами, получившими наименование «Молданубикум». Кристаллический фундамент перекрыт породами геосинклинального и орогенного этажей и платформенным чехлом.

Образования геосинклинального этажа представлены в различной степени метаморфизованными породами (песчаниками, сланцами различного состава, алевролитами) возрастом от верхнего протерозоя до верхнего карбона.

Орогенный структурный этаж представлен преимущественно терригенными молассовыми толщами и активными проявлениями эфузивного и интрузивного магматизма кислого состава. Возраст пород от верхнего карбона до верхней перми.

В пределах Чешского массива выделяются две системы глубинных разломов: северо-восточная и северо-западная. Северо-западная система включает Западночешскую, Лабскую и Нейдек-Криммицускую зоны глубинных разломов. В пределах последней расположены все три крупных месторождения провинции.

С северной стороны к Чешскому срединному массиву примыкает Саксоно-Тюрингская складчатая зона, представляющая собой краевую часть варисской геосинклиналии. Большая ее часть располагается на территории Германии.

Породы трех нижних этажей Чешского массива прорваны крупными телами варисских гранитов. Среди них особый интерес вызывают Среднечешский, Карлововарский и Эйбенштокский plutоны, к которым приурочено множество месторождений урана. Гранитные plutоны формировались в два этапа. Более ранние «горские» граниты имеют верхнекарбоновый, а более молодые «рудногорские» – пермский возраст.

Граниты обогащены радиоактивными элементами. Содержание урана в них от 6 до 11 г/т, тория – от 10 до 200 г/т.

В пределах провинции выделяются несколько типов урановых месторождений: жильные, штокверковые и прожилково-метасоматические. Последние приурочены к тектоническим зонам дробления и брекчирования в породах складчатого основания и гранитов. Раздробленные породы метасоматически замещены альбитом, хлоритом и другими минералами. Руды в них прожилково-вкрапленные с настураном, коффинитом и браннеритом. По запасам урана они относятся к средним и мелким, наиболее крупное из них – Рожна-Олша, Задний-Ходов, Витков.

На территории Чехии месторождения урана расположены в четырех рудных районах: Рудногорском (месторождения Яхимов, Славков), Западночешском (Задний-Ходов, Витков), Среднечешском (Пришибрамское рудное поле), Моравском (Рожна-Олша). На территории Германии также выделяется Рудногорский район, являющийся продолжением чешского Рудногорского района, с рядом мелких месторождений и крупным рудным полем Шнееберг-Альберода и Роннебургский район с одноименным рудным полем.

2.4.1.1. Пришибрамское рудное поле

Расположено поле вдоль северо-западного контакта Среднечешского гранитного массива на площади $30 \times 10 \text{ км}^2$. В северо-восточной части рудного поля находится ряд месторождений и рудопроявлений полиметаллов (Богутин, Бржезовы Горы). Урановые месторождения расположены в поясе протяженностью 20 км при средней ширине 1 км. Площадная продуктивность урана 2750 т/км². Рудное поле расположено в узле пересечения Яхимовской (Нейдек-Криммицауской) и Среднечешской зон глубинных разломов, в непосредственном экзоконтакте гранитного массива. Оно сложено породами постспилитовой серии верхнего протерозоя, смятыми в антиклиналь.

Контакт массива гранитоидов имеет северо-восточное простижение ($30\text{--}80^\circ$) и до глубины 3 км склоняется на юго-восток, в сторону массива под углами $35\text{--}85^\circ$. Слабометаморфизованные осадочные породы в зоне контакта в полосе шириной 300-1200 м испытали контактный метаморфизм, превративший их в биотитовые сланцы с перекристаллизованным кварцем, полевыми шпатами, кордиеритом, силлиманитом и гранатом.

Отдельные ветви тектонических нарушений, отходящие от основных разломов, выполнены гидротермальными жилами, относящимися к четырем минеральным комплексам: кварц-золотоносному, сидерит-сульфидному, карбонат-настурановому и кальцитовому. Карбонат-настурановые жилы развиты в блоке, ограниченном Дедовским и Дубенецким разломами, вмещающем месторождение Пришибрам.

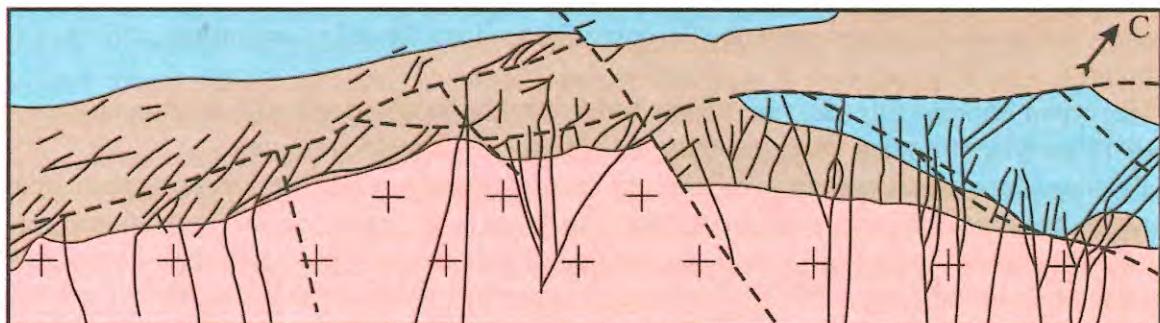
Месторождение Пришибрам

Месторождение расположено в непосредственном контакте Среднечешского гранитоидного plutона в полосе шириной 1 км и длиной – 20 км.

Вмещающие породы представлены породами спилитовой вулканогенно-осадочной серии и постспилитовой серии верхнего протерозоя, которые перекрываются

кембрийскими конгломератами и песчаниками. Протерозойские породы смяты в антиклиналь, ось которой протягивается параллельно контакту plutона северо-восточного простирания (рис. 2.22). Антиклиналь рассечена двумя продольными разломами и несколькими поперечными нарушениями. На месторождении выделяются несколько типов рудовмещающих нарушений второго и более высоких порядков, из которых часть генетически связана с подвижками по продольным разломам, а часть – со складчатыми нарушениями. Последние образовались в местах изгибов шарнира антиклинали и ориентированы в северо-западном направлении.

Геологический план



Продольный разрез

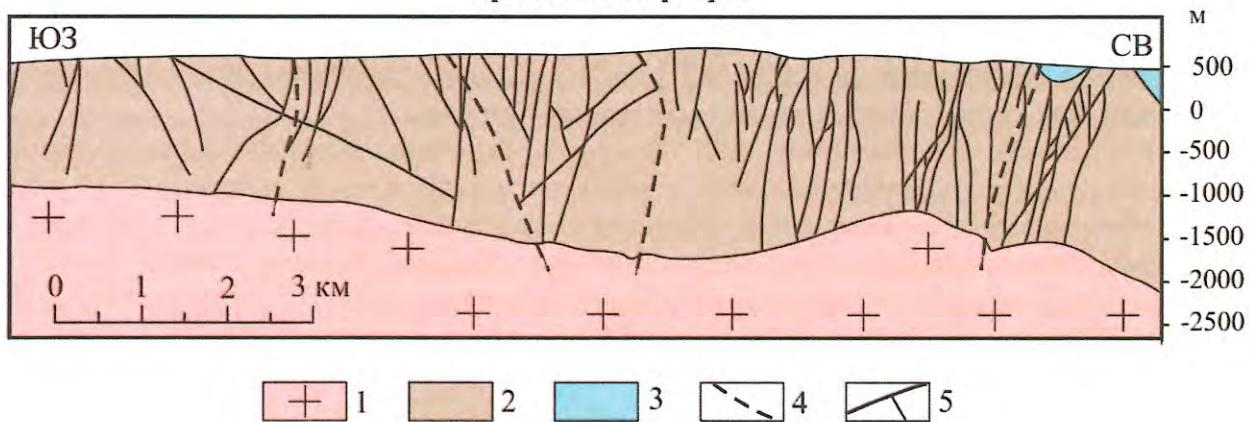


Рис. 2.22. Месторождение Пршибрам [35].

1 – граниты варисских Среднечешского массива; 2 – верхнепротерозойская серия углистых, пиритизированных аргиллитов, алевролитов и песчаников; 3 – нижнекембрийские конгломераты и песчаники; 4 – разломы; 5 – рудные жилы

Наибольшее число нарушений тяготеет к конгломерат-песчаниковой и алевролит-песчаниковой толщам постспилитовой серии. Преобладание в этих частях разреза песчаниковых горизонтов, характеризующихся более благоприятными для формирования нарушений физико-механическими свойствами, обусловило, по-видимому, максимальное развитие рудных жил с многочисленными апофизами. В алевролит-аргиллитовых толщах, подстилающих и перекрывающих толщи постспилитовой серии, количество нарушений и их оперяющих снижается. Особенно резкое уменьшение числа нарушений и их мощности наблюдается в породах спилитовой серии, модуль упругости которой в два раза превышает таковой вышележащих пород. Помимо неблагоприятных физико-механических свойств пород спилитовой серии затуханию нарушений способствовало увеличение с глубиной расстояния между основными рудоконтролирующими элементами (разломами, осевой плоскостью антиклинали и контактом гранитоидов).

Рудовмещающая постспилитовая толща содержит твердые битумы (антраксолиты), содержание которых в руде, где они замещают настуртан, увеличивается по мере удаления

от контакта гранитоидов до 40% (от количества урановых минералов) и с глубиной также до 40%. В породах наряду с твердым органическим веществом присутствует метан, содержание которого в воздухе в локальных скоплениях составляет 0,1-0,3%, изредка достигая величины в 20-30%. С глубиной его количество увеличивается. В гранитоидах органическое вещество отсутствует.

Жильное выполнение было сформировано в четыре стадии:

1. Сидерит-сульфидная (кварц, сидерит, сульфиды Cu, Pb, Zn).
2. Мanganocalцитовая (манганocalцит, анкерит, барит, гематит, сульфиды Pb и Zn).
3. Кальцит-настурановая (кальцит, хлорит, настуран).
4. Кальцит-сульфидная (кальцит, кварц, хлорит, урансодержащий антраксолит, коффинит, настуран 2, дисульфиды Fe, сульфиды Cu, Pb, Zn, арсениды Ni и Co, пирагирит).

Настуран образует прожилки, корки с почковидной поверхностью, мощностью от 1-2 мм до 10-15 см. Изогронный возраст настурана (12 проб) 265 ± 15 млн. лет.

Рудные тела в плоскости жил имеют сложные очертания, но преобладают тела удлиненные по вертикальной и наклонной осям. Размер рудных тел в поперечнике – 1-10 м. Коэффициент рудоносности (доля жильной площади, приходящаяся на рудные тела) колеблется от 0,05 до 0,50. Положение рудных тел в жилах определяется главным образом структурными особенностями (участки усложнения морфологии на пересечениях с другими трещинами, дайками, поверхностью контакта гранитоидов и т.д.). Литологические факторы также влияют на локализацию оруденения. В постспилитовых породах с высоким содержанием сингенетических сульфидов и органики окислительно-восстановительный потенциал (ΔEh) в 3 раза выше, чем у гранитоидов и кембрийских отложений, в пределах которых жилы, как правило, безрудны.

По данным А.В. Заварзина и И. Каминека, бывшими в разные годы главными геологами рудника (неопубликованные отчеты), на месторождении выявлено 2518 жил. Жилы распределены неравномерно. В приконтактовой зоне оконтурено 9 участков, в пределах которых разведано 19 жильных узлов. Основные запасы урана сосредоточены на 5 центральных участках. На одном из них (Битиз) протяженностью 3,5 км и шириной 1 км известно 782 жилы, в которых сосредоточено 52,1% урана месторождения. Из 2518 жил 5 жил имеют запасы более 1000 т урана (максимально в одной жиле 3700 т), 9 жил – от 500 до 1000 т, 74 жилы – от 100 до 500 т, 349 жил – 10-100 т и 535 жил – 1-10 т.

По размерам жилы делятся на три группы:

1. Крупные (5% от общего числа), размером 500-1000 м по простиранию и падению и с мощностью минерального выполнения от 0,05 до 1 м.
2. Средние (45%), размером 100-500 м, мощностью 0,01-0,5 м.
3. Мелкие (50%), размером до 100 м, мощностью первые десятки сантиметров.

Средняя продуктивность жил $2,12 \text{ кг}/\text{м}^2$ урана, максимальная продуктивность одной из жил $63 \text{ кг}/\text{м}^2$.

Предположительный размах уранового оруденения по вертикали 2,3 км. Основные запасы сосредоточены в интервале глубин от 300 до 1150 м. В перекрывающей толще и в гранитах жилы быстро затухают и содержат незначительную часть запасов.

Месторождение почти отработано: из 55 тыс. т добыто 48,4 т. По жилам пройдено 23 км вертикальных и 2188 км горизонтальных горных выработок. Погашено 19,6 млн. м^2 жильной площади.

2.4.1.2. Рудное поле Шнееберг-Альберода

Расположено поле в Рудногорском районе Германии на границе с Рудногорским районом (Яхимов, Славков) Чехии [6].

Урановые жильные месторождения в этом районе пространственно и генетически связаны с варисскими массивами гранитов. Месторождения мелкие по запасам урана (т):

Теллерхойзер (7854), Аннаберг (520), Иоганнгеоргенштадт (4100), Шверценберг (1446). В урановых рудах установлены повышенные содержания Ag, Bi, Co, Ni, Zn, W, Sn. Месторождение Теллерхойзер является комплексное оловянно-урановое.

Рудное поле состоит из четырех месторождений: Нидершлема, Обершлема, Шнееберг, Бернбах. Запасы урана 96800 т, площадь рудного поля 10 км². Площадная продуктивность урана 9680 т/км².

Месторождение Нидершлема-Альберода

Месторождение локализовано в экзоконтакте крупного варисского массива гранитоидов в узле пересечения северо-западных разломов Нейдек-Криммицауской зоны с северо-восточной Лесниц-Цвеницкой зоной разломов. Выявлено в 1946 г. при проходке шахты. Разведано горными выработками до отметки 1800 м, скважинами – до 2000 м. Запасы урана 92603 т. Почти полностью отработано, в недрах осталось всего 2050 т. Средняя жильная продуктивность 2 кг/м².

Слагающие месторождения осадочные и эфузивные породы О, S и D смяты в складки (Лесниц-Цвеницкая синклиналь) и прорваны гранитным интрузивом и дайками керсантитов, аплитов и диабазов. Они претерпели kontaktово-матасоматические изменения. Наиболее распространены на месторождении светлые слюдистые сланцы ордовика с прослойями кварцитов и породы «продуктивной толщи», состоящие из темных слюдистых сланцев верхнего ордовика, силурийских углисто-кремнистых сланцев и слюдистых, углисто-кварцево-слюдистых и амфиболовых сланцев, амфиболитов и скарнов. Благоприятное влияние пород продуктивной толщи объясняется, во-первых, их химическими свойствами, способствовавшими осаждению урана из растворов и, во-вторых, их физико-механическими свойствами, обусловившими увеличение числа и мощностиrudовмещающих трещин. Продуктивная толща вмещает 96% запасов месторождения, и с ее выклиниванием на глубине оруденение практически затухает (рис. 2.23).

Рудовмещающими являются главным образом северо-западные нарушения, оперяющие разлом Шверин, особенно участки их усложнения в местах пересечения с продольными северо-восточными нарушениями. Максимальная плотность этих нарушений наблюдается в приконтактной полосе шириной 800 м около гранитов, где их количество в 4-5 раз больше, чем за пределами полосы, вследствие чего 90% запасов заключено в этой полосе.

Размеры рудных жил по простиранию в среднем составляет n·10 м – n·100 м. В плоскости жил рудные тела (линзы) со средним размером от нескольких до первых десятков метров занимают 3-10% площади. Они образуют рудные столбы в местах усложнения морфологии и появления апофиз, пересечения с другими трещинами, дайками или горизонтами благоприятных пород. Мощность рудных тел обычно составляет десятки сантиметров.

Стадии минералообразования на месторождении следующие:

1. Кварцево-сульфидная (кварц, хлорит, карбонаты, дисульфиды Fe, пирротин, арсенопирит, леллингит, сульфиды Cu, Pb, Zn).
2. Кварцево-карбонатно-настурановая (кварц, кальцит, настуран 1).
3. Флюорит-баритовая (кварц, карбонаты, барит, гематит, переотложенный настуран 2, самородные Ag, Bi и As, арсениды Ni и Co, аргентит).

Настуран 1 образует прожилки и корки с почковидной поверхностью, мощностью от долей до нескольких сантиметров.

Уран в жилах месторождения ассоциирует с Ag, Co, Ni, Bi, Pb, Zn и Se.

Общий прослеженный вертикальный размах оруденения 2,3 км. К поверхности продуктивность жил резко снижается, и урановые рудные тела до поверхности не доходят, наблюдаются только «пустые» жилы.

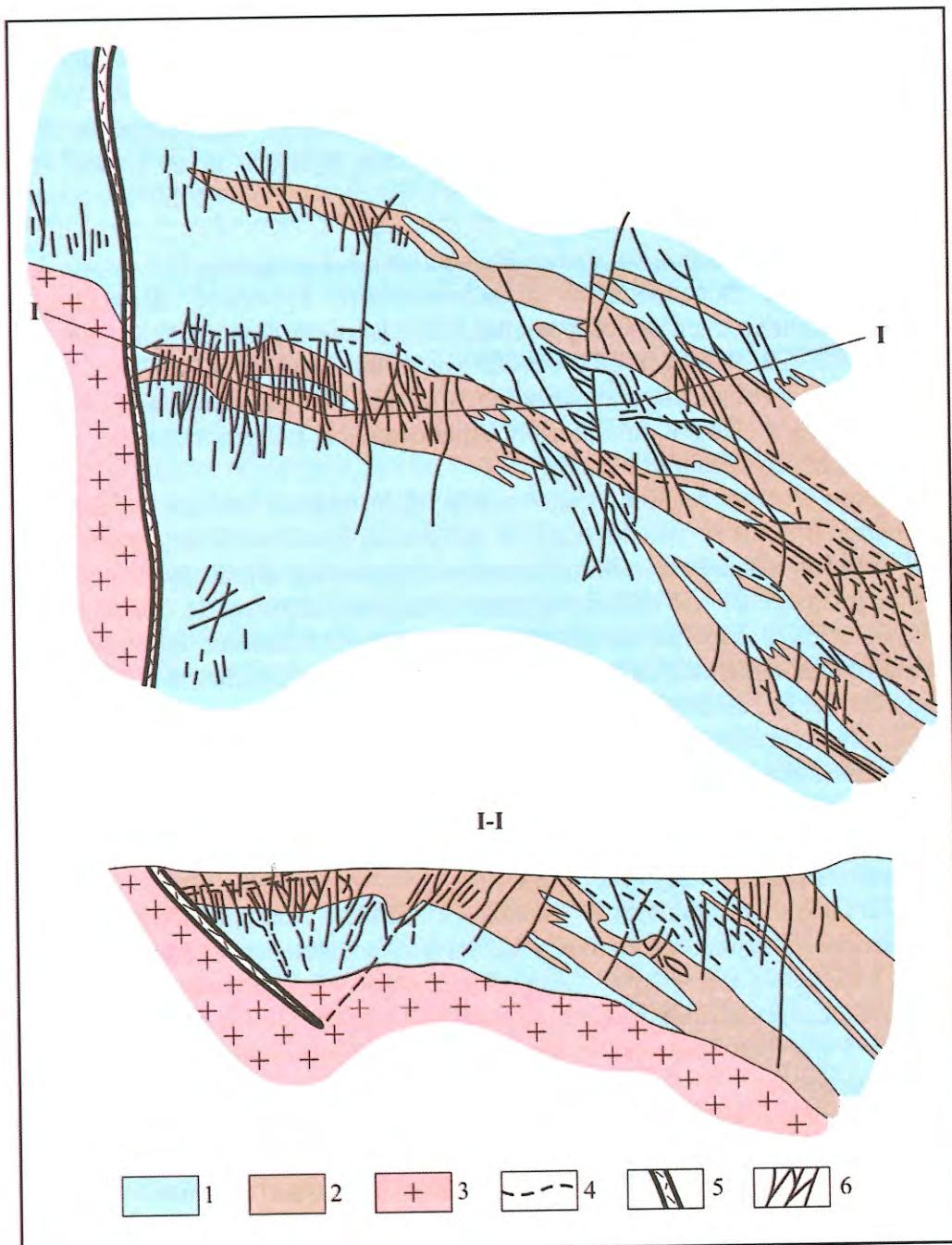


Рис. 2.23. План и разрез месторождения Шлема-Альберода [7].
 1 – кварц-слюдяные сланцы; 2 – амфиболиты и диабазы; 3 – граниты; 4 – послойные нарушения;
 5 – рудоконтролирующий разлом; 6 – рудные жилы

Из опыта разведки и отработки жильных месторождений Шлема-Альберода и Пршибрам следует, что месторождения этого типа должны разделяться горными выработками. Буровые скважины используются только для решения геолого-структурных вопросов. Все известные жильные месторождения в Германии и Чехии выявлены и отработаны подземным горным способом. С тех пор, как при опоисковании перспективных площадей перешли исключительно на бурение (конец 50-х гг. XX в.), не выявлено ни одного жильного месторождения. При очень низких коэффициентах рудоносности, даже при густой сети скважин, подсечь и увязать рудные тела внутри жил весьма проблематично.

2.4.1.3. Роннебургское рудное поле

Расположено поле в узле пересечения северо-западной Нейдек-Криммицкой зоны с зоной сближенных крупных разломов северо-восточного простираия в пределах полосы, сложенной геосинклиналями образованиями Саксоно-Тюрингской складчатой зоны.

Рудовмещающая толща от ордовика до нижней перми сформировалась в геосинклинальный этап, а в орогенный этап происходило интенсивное складкообразование. В ее составе большую роль играют углеродисто-кремнистые сланцы нижнего силура (черные сланцы).

По классификации МАГАТЭ месторождение Роннебургского рудного поля относится к типу «черных сланцев» (Black shale deposits) вместе с ураноносными черными сланцами Швеции, Эстонии и США (Чатанунга), с которыми они не имеют ничего общего. Это типичные штокверковые месторождения спорного генезиса. Авторы разделяют гидротермальную точку зрения, другие связывают концентрации урана с линейными корами выветривания в обогащенных ураном углеродисто-кремниевых сланцах.

Роннебургское рудное поле занимает площадь в 100 км². Запасы урана 200,2 тыс. т, среднее содержание урана 0,12%. Площадная продуктивность 2000 т/км².

В рудном поле выявлено 13 месторождений урана, из которых 8 имеют запасы урана более 1000 т, 5 – более 10 тыс. т (Шмирхай 77,41 тыс.т, Пайтцдорф 29,0 тыс. т, Биервальде 23,6 тыс. т, Цейс Белденхайн 16,0 тыс. т, Лихтенберг 14,0 тыс.т).

Все эти месторождения почти отработаны. Из 200 тыс. т в недрах осталось 87,2 тыс.т.

Месторождение Шмирхай

Выявлено это месторождение в 1952 г. Почти полностью отработано. В недрах осталось 8,14 тыс. т урана из 77,41 тыс.т.

Мощность продуктивной толщи 450 м. В ее составе выделяются [7]:

1. Глинисто-слюдистые сланцы верхнего ордовика (O₃), в верхней части с прослойями известковистых алевролитов и песчаников.
2. Углеродисто-кремнистые, углеродисто-глинистые и известково-глинистые сланцы нижнего силура (S₁).
3. Доломитизированные известняки с прослойями углисто-глинистых сланцев верхнего и нижнего силура (S₁- S₂).
4. Девонские известняки с прослойями глинистых сланцев с силлами и дайками диабазов.

Вся толща пересекается дайками гранитоидов и лампрофиров.

Сланцы с высоким содержанием органики (до 10,6%) и пирита (S до 6-8%) обогащены ураном от 25 до 60 г/т и несут повышенные содержания Cu, Pb, Zn, V, Ni и As.

Урановое оруденение приурочено к горизонтам либо с повышенной трещиноватостью, либо с повышенной пористостью. Наиболее подвержены хрупким деформациям крепкие углисто-кремнистые сланцы нижнего силура, которые пересечены многочисленными разрывными нарушениями различных размеров. Эти же сланцы наиболее водопроницаемы. В отличие от них глинисто-слюдистые сланцы верхнего ордовика способны к пластичным деформациям и обладают наименьшей водопроницаемостью.

Литолого-стратиграфический контроль уранового оруденения сводится к следующему:

1. Наибольшее количество запасов приурочено к горизонту силурийских (S₁) углисто-кремнистых и углисто-глинистых сланцев и сосредоточено, главным образом в нижней граптолитовой пачке на участках, осложненных разрывными нарушениями.
2. В верхней части горизонта верхнеордовикского возраста (O₃), сложенного алевролитами, песчаниками с повышенной пористостью, оруденение локализовано главным образом вблизи контакта с горизонтом S₁, осложненного разрывными нарушениями. От контакта оруденение прослеживается на несколько десятков метров вниз.

3. В горизонте S_2 оруденение находится в средней части в пачке карбонатных пород с глинистой примесью (доломитово-глинистые и доломитовые мергеля).

4. Черные сланцы S_3 рудоносны только вблизи контакта с горизонтом S_2 .

5. Девонские диабазы рудоносны на участке пересечения углисто-кремнистых сланцев S_1 .

Рудные тела в рудоносных горизонтах слагают крупные стратиформные залежи. В плане форма залежей изометрическая или овальная с поперечником в сотни метров, мощность их 5-10 м и более. Форма рудных тел разнообразна. Помимо основных пласто- и линзообразных рудных тел отмечается более мелкие секущие тела. Размеры рудных тел в поперечнике – от одного до нескольких десятков метров при мощности до первых метров. Внутреннее строение рудных тел штокверковое.

Комбинированный структурный контроль оруденения выражен в сочетании секущих, жилообразных по форме рудных тел в крупных разломах с пластообразными субгоризонтальными залежами в трещиноватых и пористых углеродистых сланцах (рис. 2.24).

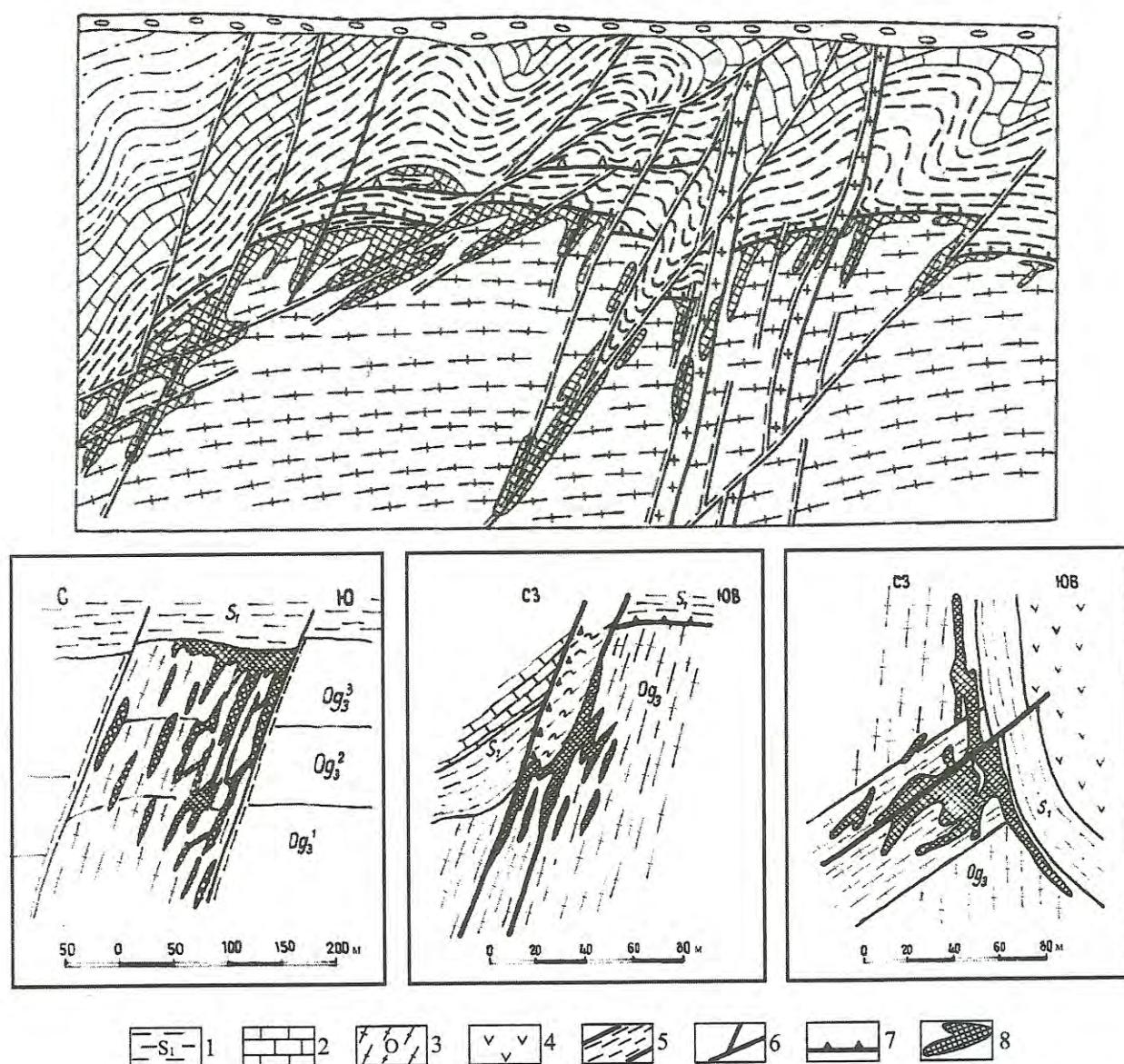


Рис. 2.24. Структурный контроль рудных тел на месторождениях Ронненбургского рудного поля [по И.Ф.Градовскому].

1 – углисто-кремнистые сланцы; 2 – известняки; 3 – слюдисто-глинистые сланцы; 4 – диабазы; 5 – зоны рассланцевания; 6 – разломы; 7 – межформационные срывы; 8 – рудные тела

В отдельных случаях породы силура экранируют секущие рудные тела, в других – секущие крутые рудные тела при подходе к углеродисто-кремнистым сланцам выплачиваются и переходят в стратиформные залежи. При анализе большого количества разрезов по многим месторождениям складывается впечатление, что гидротермальные ураноносные растворы поднимались по крупным разломам и растекались в горизонтально залегающих трещиноватых хорошо проницаемых породах, образуя стратиформные залежи.

Большая часть рудных тел сложена дисперсными тонковкрапленными рудами. Настиран образует вкрапленность размером 0,001-0,005 мм и ассоциирует с карбонатами, гидрослюдами, хлоритом, сульфидами цинка и меди. На отдельных участках в секущих тектонических нарушениях образуются богатые руды жильного типа с почками настирана до 2 см в диаметре.

На месторождении отмечается и поздний минеральный комплекс, в состав которого входят настиран, гидрослюды, коффинит, пирит, марказит, бравоит, халькопирит, арсениды кобальта и никеля, кальцит, доломит, галенит, гетит и гидрогетит.

Гипергенные образования играли значительную роль в перераспределении урана. Вдоль зон крупных разломов покраснение пород, обусловленное широким развитием гидроксидов железа, прослеживается до 600-800 м. В некоторых нарушениях зона окисления окаймляется зоной цементации с новообразованиями пирита, марказита, халькопирита и урановых минералов.

Изотопный возраст настирана 225 ± 15 млн. лет, возраст переотложенных руд с чернями и гидронастираном 90 млн. лет.

В рудах увеличены содержания Mo, As, Cu, Ni, Pb, Zn, V и Ba. Эта ассоциация характерна для всех гидротермальных месторождений Рудногорского района.

* * *

Изучение геологических особенностей двух жильных и одного штокверкового крупных месторождений провинции Чешского срединного массива и его обрамления позволяет выделить главные факторы, определяющие размеры месторождений.

Во-первых, это мощные гидротермальные источники урана, формирующиеся в магматических очагах в верхней мантии на уровне гранитообразования, присущие всей провинции.

Во-вторых, наличие разветвленной рудопроводящей системы каналов, пульсационно приоткрывающихся и заполняемых в несколько стадий минеральным веществом.

В-третьих, сочетание благоприятных литологических и структурных факторов, обеспечивающих увеличение мощностей отдельных жил и образование сближенных пучков жил. Крупное месторождение может быть представлено только большим количеством жил (несколько сотен и более), так как запасы урана в одной жиле не превышают в большинстве случаев 1000 т.

Для крупных месторождений штокверкового типа (Шмирхай) характерно большое количество структурных «ловушек», образующихся в узлах пересечения рудоподводящими разломами складчатых структур, сложенных благоприятными породами, а также полигенность и полихронность оруденения. Выявления новых крупных жильных месторождений, за исключением совершенно неизученных районов, маловероятно. Месторождения этого типа формируются в приподнятых и эродированных блоках земной коры и широко проявляются на поверхности в виде кварцевых жил и кварцевых высыпок.

Штокверковые месторождения, напротив, обычно очень слабо проявлены на поверхности. Для их выявления требуются большие объемы геофизических, геохимических и буровых работ. Поэтому перспективы их выявления далеко не исчерпаны.

2.4.2. Монголо-Забайкальская провинция

Провинция расположена в восточной части Урало-Монгольского складчатого пояса [10] в пределах Керулен-Аргунского срединного массива, в котором в результате мезозойской ТМА образовались вулканические пояса. Выделяются два пояса – Селенгено-Олекминский и Монголо-Приаргунский. Они формировались в две стадии – раннюю (P, T, J_1) и позднюю (J_2-Cr_1). Образования ранней стадии преобладают в Селенгено-Олекминском поясе, а поздней – в Монголо-Приаргунском. В последнем среди продуктов ранней стадии преобладают средние и кислые, а поздней стадии – кислые и основные.

Магматизм ранней и начала поздней стадии завершается внедрением массивов гранитоидов, сначала плагиогранитов, а затем лейкогранитов и аплитов. С ранней стадией связаны медно-молибденовые (Эрденет в Монголии), оловянные, вольфрамовые, золоторудные месторождения, с поздней – полиметаллов, золота, урана и флюорита.

Все основные урановые месторождения сосредоточены в пределах Стрельцовской и Оловской вулкано-тектонических структур на территории России и в Дарнотской и Гурван-Булакской на территории Монголии.

Лейкограниты, аляскиты и кислые вулканиты обогащены ураном, особенно кислые вулканиты поздней стадии.

Ресурсы урана провинции точно не определены, так как северо-западный фланг (на территории Монголии) изучен очень слабо, и монгольские специалисты представляют в МАГАТЭ явно завышенные ресурсы урана [33,58]. Ориентировочно, судя по российскому сектору, прогнозные ресурсы всей провинции вместе с запасами можно оценить в 400-450 тыс. т урана.

2.4.2.1. Стрельцовское рудное поле

Месторождения Стрельцовского рудного поля расположены в пределах одноименной вулкано-тектонической структуры (ВТС), занимающей площадь 140 км². Урановые месторождения выявлены и разведаны в 1963-1981 гг.

По данным С.И. Щукина [44], в пределах ВТС выявлено 19 месторождений урана, из них 15 промышленных и 4, требующих переоценки (рис. 2.25). Часть месторождений отработана, часть эксплуатируется, другие находятся в резерве. За время эксплуатации в результате геологоразведочных работ получен значительный прирост запасов, в целом по рудному полю более 23 тыс. т урана (табл. 2.3.). Всего запасов и ресурсов в Стрельцовском рудном поле около 300 тыс. т, площадная продуктивность 2140 т/км². Оно до сих пор является единственным крупным производителем урана в России, производящим ежегодно около 3000 т. Максимальная производительность приходится на 1982-1988 гг., когда добывалось более 5 тыс. т урана в год (в 1986 г. добыто 5447 т), из них карьером около 2 тыс. т (максимально в 1982 г. – 3423 т).

Всего с 1970 по 2010 гг. добыто около 140 тыс. т, и в недрах осталось около 130 тыс. т урана.

Стрельцовское рудное поле охватывает одноименную вулкано-тектоническую структуру (ВТС), представляющую собой кальдеру обрушения, ограниченную системой кольцевых сбросов с различными амплитудами смещения. Вулканические аппараты, через которые происходил выброс вулканического материала, располагаются близ западного борта кальдеры. Их положение контролируется меридиональными разломами и фиксируется штокообразными субвулканическими и экструзивными телами граносиенит-порфиров, прорывающими липариты и фельзиты. По кольцевым разломам внедрялись дайки гранит-сиенит-порфиров.

Кристаллический фундамент ВТС сложен в различной степени гранитизированными архейскими и раннепротерозойскими гнейсами, амфиболитами, кристаллическими сланцами, доломитами и известняками. Разновозрастные гранитоиды

(ранне- и позднепротерозойские, позднекаледонские) являются продуктами кремнешелочного метасоматоза и анатексиса, весьма изменчивы по составу и структуре.

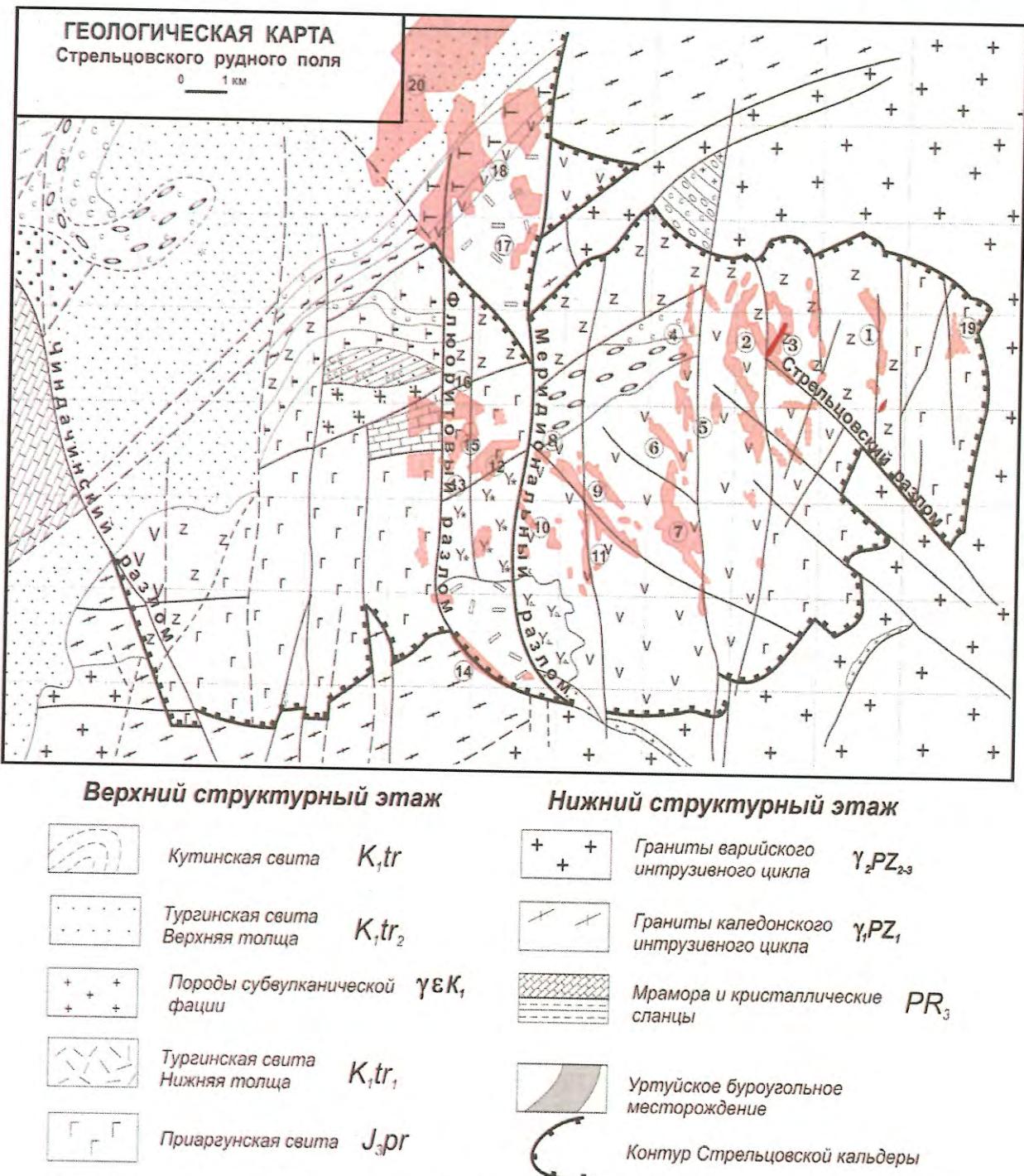


Рис. 2.25. Урановые месторождения Стрельцовского рудного поля [44].
Промышленные: 1 – Широндукуевское, 2 – Стрельцовское, 3 – Антей, 4 – Октябрьское, 5 – Лучистое, 6 – Мартовское, 7 – Мало-Тулукуюевское, 8 – Тулукуюевское, 9 – Юбилейное, 10 – Весеннее, 11 – Новогоднее, 12 – Жерловое, 13 – Аргунское, 14 – Пятилетнее, 15 – Дальнее.
Требующие переоценки: 16 – Юго-Западное, 17 – Безречное, 18 – Восточно-Широндукуевское, 19 – Полевое

Таблица 2.3

Запасы урана месторождений Стрельцовского рудного поля

Месторождение	Утверждено ГЗК		Прирост ГРР	Всего
	U, тыс.т	содержание, %	U, тыс.т	U, тыс.т
Стрельцовское	62166	0,181	13352	75518
Антей	30754	0,293	-118	30636
Лучистое	8434	0,259	564	8998
Мартовское	3540	0,167	1148	4688
Октябрьское	19179	0,264	-552	18627
Тулкуевское (приконтактное)	3216	0,216	297	3513
Юбилейное	9217	0,183	783	10000
Новогоднее	3212	0,259	1278	4490
Весеннее	864	0,197	1585	2449
Тулкуевское (карьер)	32132	0,372	4694	36826
Красный Камень (карьер)	879	0,169	434	1313
Широндукий	8690	0,181	-36	
Мало-Тулкуевское	12789	0,183	96	
Аргунское	37438	0,178		
Жерловое	3485	0,082		
Пятилетнее	2966	0,101		
Дальнее	4845	0,124		
Всего	243806	0,205	23525	267331

Возраст гранитоидов по акцессорному циркону определяется в 670 ± 40 млн. лет, 459 ± 40 млн. лет и $260-280$ млн. лет. В мезозойский этап формировались жилы и дайки микроклиновых и альбит-микроклиновых гранитов мощностью до 5-10 м. Эти породы явно обогащены ураном до 24 г/т и торием до 35 г/т.

Разрез осадочно-вулканических образований ВТС представлен образованиями нижней вулканической пачки (приаргунская свита), средней вулканогенной пачки и низов верхней пачки (тургинская свита).

Нижнюю пачку слагают три покрова базальтов и два покрова трахидацитов. Покровы разделяются горизонтами осадочных пород (конгломераты, песчаники, туфы). Мощность изменчива, общая мощность пачки от 300 до 1500 м. Разрез средней пачки сложен тремя горизонтами кислых вулканических пород. В основании залегает горизонт конгломератов. Кислые вулканиты перемежаются с горизонтами обломочных пород. Общая мощность пачки более 500 м. Образования верхней пачки выполняют грабенообразные впадины. В основании развит горизонт конгломератов, перекрытый покровом базальтов, на котором залегают кислые туфы, вулканические стекла и конгломераты. Выше залегает второй горизонт базальтов, перекрываемый кислыми стеклами, туфами и конгломератами и выше – гравелитами и песчаниками. Близ северного борта впадины в разрезе появляются углистые алевролиты и пласти бурых углей мощностью до 80 м.

Содержание урана возрастает от основных эфузивов к кислым, а для однотипных пород – снизу-вверх. Максимальные содержания урана в трахидацитах составляют 5,4-7,1 г/т, тория – 27 г/т.

Общую структуру Стрельцовской кальдеры определяют тектонические нарушения субмеридионального, северо-восточного и северо-западного направлений, а также кольцевые разломы, ограничивающие кальдеру. Разломы глубинного заложения неоднократно подновлялись по меридиональному разлому, представляющему собой крутой сброс западного падения с амплитудой вертикального смещения более 400 м.

Узлы пересечения меридиональных и северо-восточных разломов контролируют положение месторождений урана (см. рис. 2.25). Урановое оруденение развивается на

средней вулканической пачки. Главная масса руд локализована на уровне низов покрова фельзитов в средней вулканической пачке (25% запасов) и в гранитах фундамента (25% запасов). К этим двум уровням приурочено самое крупное Стрельцовское месторождение с его глубинной частью – Антеем.

Стрельцовское месторождение

Впервые урановая минерализация установлена в 1957 г. при оценке флюоритового рудопроявления, в разряд месторождений переведено в 1963 г., разведано – в 1963-1969 гг. В процессе детальной разведки Центрального участка горными выработками в 1969 г. были выявлены кругопадающие рудные залежи, уходящие на глубину в граниты фундамента. Они получили самостоятельное наименование – Антей. Кроме Антея на Стрельцовском месторождении выделено четыре обособленных участка: Центральный, Восточный, Западный и Глубинный. Положение четырех из них хорошо видно на поперечном разрезе через месторождение (рис. 2.26).



Рис. 2.26. Геологический поперечный разрез через месторождения Стрельцовское и Антей [9, 10].

1 – фельзиты; 2 – конгломераты, песчаники; 3 – андезито-базальты; 4 – трахидациты; 5 – туфы; 6 – граниты; 7 – разломы; 8 – четвертичные отложения; 9 – рудные тела

Утвержденные ГЗК запасы вместе с Антеем составили 92910 т урана, при детальной разведке запасы увеличились до 106144 т. По состоянию на 1.01.09 г. в недрах осталось 46163 т с содержанием 0,142%.

Положение Восточного, Центрального и Глубинного участков определяется субмеридиональными нарушениями, а Западного – северо-западными. Залежи Антея контролируются северо-восточным разломом (СВ 30°).

Вмещающие породы представлены трахидацитами и базальтами. Самая крупная залежь Центрального участка (№1) и залежи Западного участка контролируются разрывными нарушениями, рассекающими рудовмещающую толщу от низов покрова фельзитов до базальтов.

Морфология рудных залежей определяется сочетаниями разрывных нарушений, оперяющих рудоконтролирующие разломы, и хорошо проницаемых горизонтов осадочно-вулканогенной толщи (рис. 2.27, 2.28). Непосредственно в разломах рудные тела имеют линейно-вытянутую жилообразную форму. Протяженность таких тел по простирианию 700-900 м, по падению – 300-400 м при мощности от первых метров до десятков метров.

Штокверковые залежи самой разнообразной причудливой формы обычно имеют небольшую протяженность по падению (до 200 м). Протяженность их по простиранию от десятков метров до 300-600 м при мощности от десятков до 100 м.

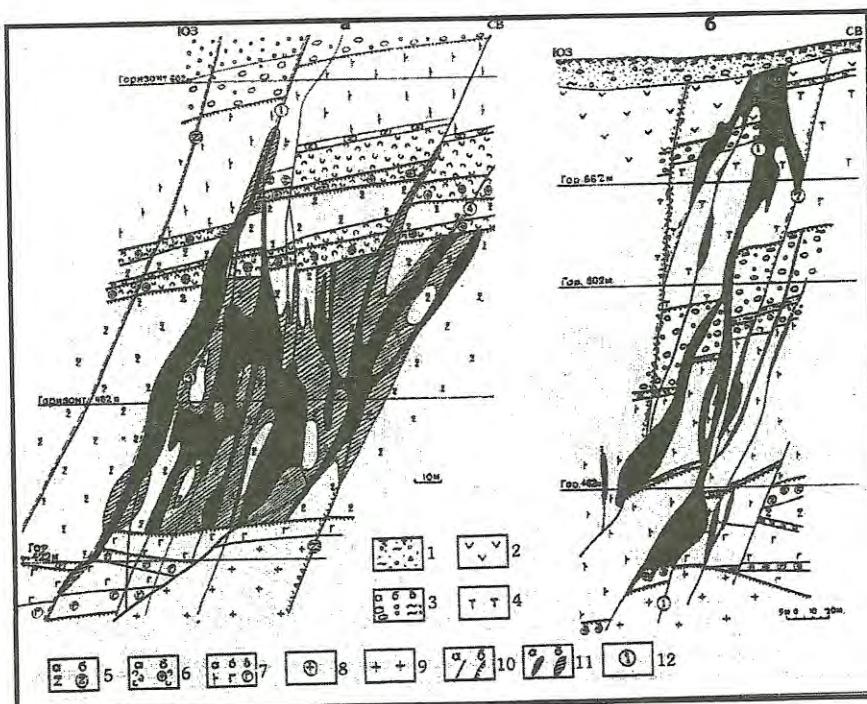


Рис. 2.27. Стрельцовское месторождение. Участок Центральный. Геологические разрезы по разведочным линиям 113+50 (а), 115+50 (б) [44].

1 – рыхлые отложения; 2 – фельзиты; 3 – конгломераты (а), гравелиты (б), алевролиты (в); 4 – плагиоклазовые трахивазальты; 5 – трахидакиты (а), их лавобрекции (б); 6 – туфы (а), очковые туфы (б); 7 – базальты среднего (а), нижнего (б) покровов, лавобрекции базальтов (в); 8 – базальные конгломераты; 9 – граниты; 10 – разломы (а), пологие нарушения (б); 11 – рудные тела с кондиционным (а), забалансовым (б) оруденением; 12 – номера разломов

Вмещающие породы месторождения в той или иной степени изменены – гидрослюдизированы, а породы внутри штокверков альбитизированы, окварцованны и гематитизированы.

Урановорудные тела не доходят до поверхности, где непосредственно под наносами отмечаются только минерализованные трещины с очень слабой радиоактивностью. Нарушения, контролирующие тело №1 Центрального участка, в верхней части выполнены флюоритом, а урановая минерализация отмечается только на 200 м ниже. Та же картина наблюдается и на других месторождениях рудного поля. Например, верхняя кромка рудной залежи Тулукевского месторождения находится всего в 60 м ниже поверхности, а многочисленные выходящие на поверхность трещины не несут уранового оруденения.

Высокие и очень высокие содержания урана (несколько %) отмечаются в жилообразных рудных телах на участках распространения брекчий, где обломки и цемент насыщены настураном, образующим прожилки, гнезда и вкрапленность в ассоциации с кварцем, флюоритом, молибденитом, хлоритом, гидрослюдами и пиритом. Содержание молибдена в таких рудах достигает 0,3%, а в среднем составляет 0,08-0,1%. Среднее содержание урана в штокверковых рудах не превышает 0,2%, более высокие содержания – до 0,5% – наблюдаются только в осевых маломощных жилообразных телах.

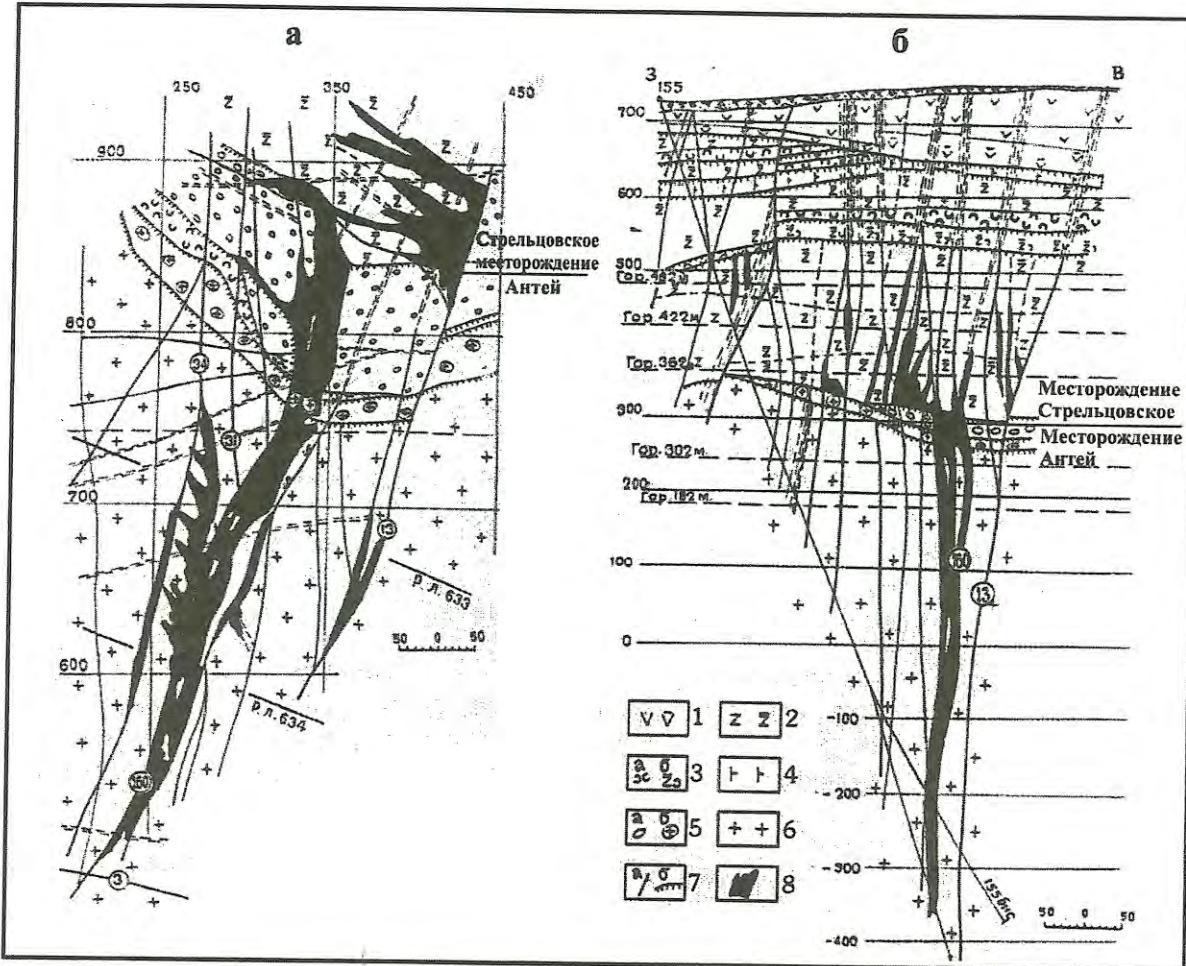


Рис. 2.28. Месторождения Антей и Стрельцовское. Геологический план горизонта 302 м (а) и разрез по разведочной линии 54 (б) [9].

1 – фельзиты; 2 – трахидациты; 3 – туфы (а), туфолавы трахидацитов (б); 4 – базальты; 5 – конгломераты (а), структурный элювий гранитов (б); 6 – гранитоиды; 7 – разломы (а), пологие нарушения (б); 8 – рудные тела

На месторождении Антей, выявленном в 1969 г., установлено две залежи: пластообразная залежь в базальных конгломератах приаргунской свиты и жилообразная крутая залежь в гранитах фундамента. Последняя заключает основные запасы урана. Она имеет северо-восточное простиранье, протяженность ее около 1000 м, на глубину она прослеживается на 700 м ниже поверхности фундамента и 1500 м – от дневной поверхности. Бедные урановые концентрации вскрыты скважинами до глубины 2400-2500 м от поверхности.

Жилообразная залежь Антея имеет несколько раздувов мощности, два самых крупных располагаются на границе фундамента с вулканогенно-осадочными породами и третий – на глубине на участке пересечения с серией пологих нарушений. Центральная часть залежи представлена рудным столбом размером 300 м по простирианию и 500-600 м по падению.

Содержание урана достигает 2,3-4,15% на мощность 24,0-38,8 м. Среднее содержание урана 0,954%. Богатые руды представлены обильными гнездообразными скоплениями настурона размером до десятков сантиметров.

Пластовая залежь Антея залегает в базальных конгломератах и покрове трахидацитов. Протяженность ее около 1 км при ширине 20-50 м, мощность 20-30 м. Руды тонковкрапленные, содержание урана от первых сотых до 0,3%.

Руды Стрельцовского месторождения в основном настуранные, менее распространен коффинит, в незначительных количествах на глубоких горизонтах присутствуют браннерит и уранинит. Выделяется семь стадий минерализации:

1. Серицит-полиметаллическая.
2. Аргиллизитовая предрудная.
3. Кварц-карбонат-сульфидная.
4. Альбит-броннеритовая.
5. Кварц-молибденит-настурановая.
6. Кварц-флюорит-молибденитовая.
7. Кварц-карбонат-флюоритовая.

Начальная стадия урановорудного процесса альбит-броннеритовая стадия, наиболее ярко представлена на месторождении Антей, особенно с глубины 1300 м и ниже. Здесь зона альбитизации имеет мощность 150 м и прослеживается на всю изученную глубину до 1660 м. Содержание броннерита в рудах составляет до 50% от суммы урановых минералов. Он содержит до 1,3% ZrO_2 . Основная стадия формирования урановых руд Стрельцовского месторождения кварц-молибденит-настурановая, представленная несколькими генерациями настурана и коффинита. Молибденит этой стадии накладывается на более ранние урановые руды, а также образует самостоятельные скопления. В кварц-карбонат-флюоритовую стадию формируются кварц-флюоритовые жилы, которые представляют промышленные месторождения флюорита.

Изохронный возраст настурана 140 млн. лет (ранний мел) приблизительно равен возрасту самых молодых вулканитов Стрельцовской кальдеры.

Температура гомогенизации газово-жидких включений в кварце и карбонатах на самых больших глубинах 260-340°C, в минералах дорудной – 165-195°C, рудной стадии – 150-200°C и пострудной – 150-180°C. Давление, рассчитанное для черного флюорита рудной стадии, составило 550-1200 атмосфер, для кварца дорудной стадии на месторождении Антей – 320-670 атмосфер.

Основными факторами, определившими формирование месторождений Стрельцовского рудного поля являются: мощный источник гидротермальных растворов, система рудоподводящих и рудораспределяющих разломов и благоприятная структурная обстановка рудообразования.

Стрельцовскую вулкано-тектоническую структуру в геолого-историческом аспекте можно отнести к длительно существующей «горячей точке» или «плому», где процесс уранового рудообразования завершает неоднократно и эпизодически повторяющуюся тектономагматическую активизацию верхней мантии на ограниченной площади. Магматические и вулканические продукты ТМА обогащены ураном, что может свидетельствовать об изначальном обогащении радиоактивными элементами определенного участка мантии, который и служит первопричиной образования «горячей точки». Длительное накопление тепла от распада радиоактивных элементов при достижении критической температуры приводило к расплавлению и дифференциации мантийного материала и появлению гранитоидного магматизма, что приводило к временному снижению температуры в мантии. Это явление неоднократно проявлялось на разных уровнях и в конце концов привело к выводу в верхние горизонты коры всех «излишков» радиоактивных элементов и самоликвидации (остыванию) к концу мезозоя «горячей точки». Тектономагматическая активизация проявлялась, по меньшей мере, трижды и выявила в гранитизации и внедрении в архей-протерозойскую кору калиевых обогащенных ураном и торием гранитов: в позднем протерозое (670 млн. лет), раннем (460 млн. лет) и верхнем палеозое (270 млн. лет). Последняя ТМА, вызвавшая мощное проявление вулканализма и завершившаяся формированием крупных урановых месторождений, произошла в позднем мезозое (140 млн. лет). Постмагматическими гидротермальными растворами было привнесено в сферу рудоотложения огромное количество урана. Площадная продуктивность урана в ВТС составляет более 2000 т/км². Извлечь такое количество урана из гранитов фундамента в пределах узких зон измененных пород, примыкающих к рудоподводящим разломам, не представляется возможным.

Ураноносные гидротермальные растворы поднимались по серии меридиональных и северо-восточных разломов под давлением порядка нескольких сот и до тысячи атмосфер. Они поднимались вверх по разветвленной дренажной системе, образованной хорошо проникаемыми зонами трещиноватости и брекчирования в сочетании с пористыми породами осадочно-вулканогенных горизонтов. На больших глубинах при температуре более 300°С уран переносился в галоидных комплексах, преимущественно с фтором, а в приповерхностных окислительных уровнях – в виде уранил-карбонатных комплексов.

В пределах разветвленной сети сочленяющихся и пересекающихся тектонических нарушений различного направления и на пересечении ими гетерогенной по проникаемости осадочно-вулканической толщи образовалось большое число структурных «ловушек» разного объема, формы и размеров, сложенных разуплотненными хорошо проникаемыми породами и сообщающимися между собой и с рудоподводящими разломами. Основной причиной отложения урана в пределах этих «ловушек» было разное падение парциального давления углекислоты. Дегазация в зависимости от различной проникаемости пород происходила с разной скоростью. В менее проникаемых породах она была замедленной и вызывала метасоматическое минералообразование, а в сильно разуплотненных породах с большим количеством открытых полостей происходило «всплытие» растворов и образование жильных скоплений урановых минералов.

Крупное месторождение, такое как Стрельцовское, представляет собой скопление большого количества сближенных между собой минерализованных структурных «ловушек».

Изложенная точка зрения о глубинном источнике урана хорошо согласуется с данными Л.П. Ищуковой и др. [9], детально изучивших месторождения урана Стрельцовской ВТС. Они отмечают, что длительное развитие глубинного магматического очага, его высокая магматическая и флюидо-газовая продуктивность в течение всей истории развития региона являлись предпосылками зарождения и дальнейшего формирования рудоносных растворов. Л.П. Ищукова указывает, что функционирование магматического очага началось на архей-протерозойском этапе с образованием метабазальтов, метагабброидов и метапироксенитов среди метаморфических пород. В течение позднего протерозоя, палеозоя и мезозоя при ТМА этот очаг генерировал огромное количество кремнекалиевых и кремнекалий-натриевых растворов, вызывающих неоднократную гранитизацию, полиформационный вулканизм и образование кремнешелочных метасоматитов в глубинных зонах разломов, а на последнем позднемезозойском этапе – гидротермальные ураноносные растворы.

Разработанная в процессе изучения месторождений Стрельцовского рудного поля модель глубинного гидротермального рудообразования успешно использовалась при прогнозно-поисковых работах в пределах Стрельцовской ВТС и других аналогичных структурах.

Для определения возможности выявления новых крупных гидротермальных штокверковых месторождений необходимо изучить опыт открытия и разведки месторождений Стрельцовского рудного поля.

Месторождения не выходят на дневную поверхность. Рудовмещающие породы перекрыты чехлом рыхлых отложений мощностью от нескольких метров до десятков метров. Радиоактивные аномалии (90%) скрыты под наносами мощностью 2-15 м.

Только три мелких тела урановых руд выходят в кору выветривания – так называемый «представительный горизонт». Несколько рудных тел расположено на глубине около 70 м, большинство – на глубинах 200-300 м, а некоторые – на глубинах более 400 м.

В «представительном» горизонте проявлены мелкие оперяющие нарушения разломов, с которыми связаны флюоритовая минерализация, гидрослюдистые изменения и слабые радиоактивные аномалии.

Применительно к таким трудным условиям за короткий период геологами Первого геологического управления Министерства геологии в научном сопровождении ведущих научно-исследовательских институтов были опробованы все известные и новые способы поисков, и создана специализированная комплексная методика, основанная на объемном геолого-структурном картировании м-бов 1:25000; 1:10000, использование которой привело к открытию за шесть лет (1963-1969 гг.) всех основных месторождений Стрельцовского рудного поля и созданию крупнейшего уранопроизводящего центра России.

Достоверность геолого-структурного картирования обеспечивалось применением комплекса методов структурной геофизики, радиометрического картирования (пешеходные, автомобильные и шпуровые съемки), бурением по наносам установкой СУГП, бурением картировочных скважин, проведением эманационной и геохимической съемок, проходкой большого объема поверхностных горных выработок (канав и шурfov). Особенностью поисковых работ было совмещение во времени стадий поисковых, поисково-оценочных работ, предварительной и детальной разведки.

За период поисков и разведки в пределах рудного поля пробурено более 3000 глубоких скважин, пройдено 20 разведочных и разведочно-эксплуатационных шахт глубиной 400-700 м, и пройдены подземные горные выработки объемом 346 км.

Аналогичные работы по масштабу, объему и методике одновременно проводились в Якутии (Эльконский урановорудный район) и Канаде (провинция Атабаска) и привели к открытию крупнейших месторождений урана. В Атабаске они успешно продолжаются до настоящего времени, и выявляются все новые и новые месторождения на глубине 500-700 м. В России они не были повторены, хотя бы с более низкими объемами, ни в одном перспективном районе. В результате за 30 лет не было открыто ни одного значительного месторождения урана, а возможность их выявления остается нереализованной.

2.4.3. Провинция Кокчетавского срединного массива и его обрамления

Провинция охватывает Кокчетавский докембрийский срединный массив и его каледонское складчатое обрамление. Площадь 220 тыс. км². На территории провинции выявлено около 50 эндогенных и несколько экзогенных месторождений урана с общими запасами 240 тыс. т, а вместе с ресурсами – 400 тыс. т урана.

Месторождения группируются в отдельные рудные узлы или поля. Всего известно восемь таких узлов:

1. Ишимский (месторождения Ишимское, Камышовое, Шокпакское).
2. Чистопольский (Викторовское, Молодежное и др.).
3. Грачевский (Грачевское, Косачиное и др.).
4. Алтыбайский (Чаглинское, Абайское, Славянское).
5. Коксентирский (Коксорское, Заозерное, Тастыкольское, Межозерное и др.).
6. Шатский (Глубинное, Шатское, Агашское).
7. Маныбайский (Маныбай, Аксу, Южно-Маныбайское, Кербайское, Круглое).
8. Балкашинский (Балкашинское, Восток, Звездное, Тушинское, Дергачевское).

Крупное месторождение урана (более 50 тыс. т.) известно только в Грачевском рудном поле.

2.4.3.1. Грачевское рудное поле

Рудное поле объединяет Грачевское, Косачиное, Февральское, Бурлукское месторождения и около десятка рудопроявлений. Общие запасы месторождений 114 тыс. т, а вместе с ресурсами – 120 тыс. т урана. Площадь около 30 тыс. км². Такая площадь свойственна не рудным полям, а рудным субпровинциям или рудным районам. Судя по размерам, к рудному полю можно приравнять месторождение Косачиное, где на площади 40 км² (8x5 км) выявлено 10 участков с урановорудными залежами (Центральный, Сартубекский, Кутузовский, Болотный, Дорожный, Шахтный, Восточный, Глухаринский,

Люботинский, Западный). Площадная продуктивность урана 2400 т/км² – примерно такая же, как и в Стрельцовском рудном поле. Грачевское и Косачиное месторождения, расстояние между которыми 100 км, расположено в узкой полосе пород, площадью 100 км². В этом случае площадная продуктивность составляет 1200 т/км².

Урановые месторождения в Грачевском рудном поле выявлены и разведаны в конце 60-х – начале 70-х гг. прошлого века.

Геотектоническая позиция Грачевского рудного поля определяется его размещением в северо-западной части Кокчетавского поднятия в области структурно-стратиграфического несогласия между докембрийским кристаллическим фундаментом и раннепалеозойскими отложениями наложенного Шаринского прогиба [26]. Район перекрыт чехлом рыхлых мезо-кайнозойских отложений мощностью 20-80 м. Шаринский прогиб в центральной части сложен вулканогенно-терригенными нижнепалеозойскими отложениями, а на крыльях – углеродисто-карбонатно-сланцевой и песчано-сланцевой толщами венда.

Прибрежные выступы докембрийского фундамента прорваны крупными массивами гранитов ордовик-силурийского и силур-девонского возраста. Породы фундамента и прогиба разбиты на отдельные блоки, ограниченные долгоживущими разломами северо-восточного, субширотного, субмеридионального и северо-западного направления.

Самые крупные Грачевское и Косачиное месторождения расположены вблизи узлов сочленения разломов, осложняющих складчатые структуры. Урановое оруденение локализуется в осадочных и изверженных породах различного состава и возраста. Благоприятными являются породы повышенной хрупкости, способствующие формированию зон трещиноватости, брекчирования и дробления.

Месторождение Косачиное

Десять разобщенных участков месторождения, каждый из которых, по существу, является самостоятельным месторождением, приурочены к вулкано-тектонической структуре площадью около 40 км² (рис. 2.29).

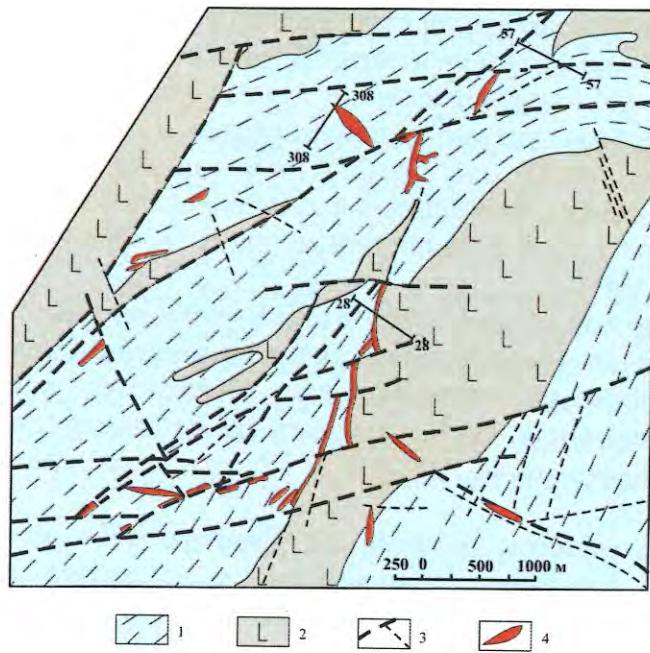


Рис. 2.29. Месторождение Косачиное. Размещение рудных участков в плане [26].
1 – осадочно-вулканогенные отложения венда и нижнего палеозоя; 2 – кембрийские диабазы, диабазовые порфириты, их туфы; 3 – разломы; 4 – рудные тела

Месторождение выявлено в 1973 г. поисковым бурением по сети 800x320 м под олигоцен-четвертичными отложениями мощностью 5-40 м. В коре выветривания домозойских образований был обнаружен ореол повышенной радиоактивности интенсивностью более 100 мкр./час, прослеживающийся с небольшими перерывами на 6 км. Разведка месторождений осуществлялась подземными горными выработками, сопровождавшимися большим объемом поверхностных и подземных буровых работ.

Общие запасы урана всех 10 участков 96 тыс. т. Это крупнейшее эндогенное месторождение Казахстана. Находится в резерве. Центральная часть этой структуры занимает субвулканический массив базальтоидов кембрийского возраста. С северо-запада и юго-востока от массива располагаются складчатые осадочно-вулканические породы венда, ордовика и силура, прорванные небольшими массивами верхнеордовикских лейкократовых гранитов.

Саумакольская ВТС разбита на блоки, ограниченные разломами, главные из которых имеют северо-восточное, субмеридиональное и широтное простирание. Разломы прослежены по простирианию на десятки километров, выполнены катаkläзованными, брекчированными и рассланцованными, а также гидротермально измененными породами.

Урановое оруденение приурочено к крутопадающим зонам дробления и оперяющим их нарушениям. В полосе протяженностью 7 км и шириной 1 км северо-западного простириания, проходящей вдоль западного контакта силла базальтоидов, сосредоточено шесть участков (с юга на север): Люботинский, Глухариный, Западный, Центральный, Сартубекский и Кутузовский.

Урановое оруденение развито в рудоносных крутопадающих зонах (от 1 до 3 на каждом участке). На трех участках (Центральном, Сартубекском и Кутузовском) сосредоточено 80% всех запасов урана.

На Центральном участке оруденение контролируется Главным разломом, представленным серией сближенных сопряженных тектонических швов мощностью от 2-5 до 50 см, сложенных глинкой трения и перетертym графитизированным материалом. Общая мощность разлома от 2-3 до 20 м, падение западное под углом 70-80° (см. рис. 2.30, разрез по линии 28). Урановое оруденение локализуется в клинообразном блоке пород шарыкской свиты, зажатом между Главным разломом на западе и Контактовым разломом на востоке. Оруденение прослежено по простирианию на 2,6 км при вертикальном размахе от 350 до 400 м на юге и до 1500 м на севере. Ширина развития рудоносной структуры от 100 до 300-400 м. Она подразделяется на три рудные зоны, каждая из которых вмещает совокупность рудных штокверков мощностью от первых метров до десятков метров.

На Сартубекском участке (см. рис. 2.30, разрез по линии 57) урановое оруденение развито в зоне брекчирования, прослеженной в меридиональном направлении на 2,5 км и по падению до глубины 1,3 км. Мощность зоны до 50 м. Она вмещает жилообразные и штокверковые рудные тела.

Кутузовский участок сложен вулканогенно-терригенными отложениями верхнего ордовика и нижнего силура (переслаивание туфоконгломератов, гравелитов и песчаников с прослойями известковистых конгломератов). Оруденение контролируется северо-западной зоной брекчирования, круто падающей на юго-запад (см. рис. 2.30, разрез по линии 308). Зона прослежена на 500-600 м. Рудные тела представлены типичными штокверками.

Урановые руды сложены коффинитом, браннеритом и реже – настураном. Они выполняют короткие прожилки и вкрапленность в метасоматически измененных брекчиях. Среднее содержание урана в рудах 0,114%. Изменения выражаются в альбитизации, карбонатизации и хлоритизации, проявленных во всех рудоконтролирующих разломах. Кроме урана в рудах установлены незначительные концентрации Mo, Cu, Pb, P₂O₅ и Sr. Интересно, что на соседнем Грачевском месторождении, где среди вмещающих пород встречаются известняки, в рудах установлены высокие содержания фосфора (2,5%), циркония и редких земель.

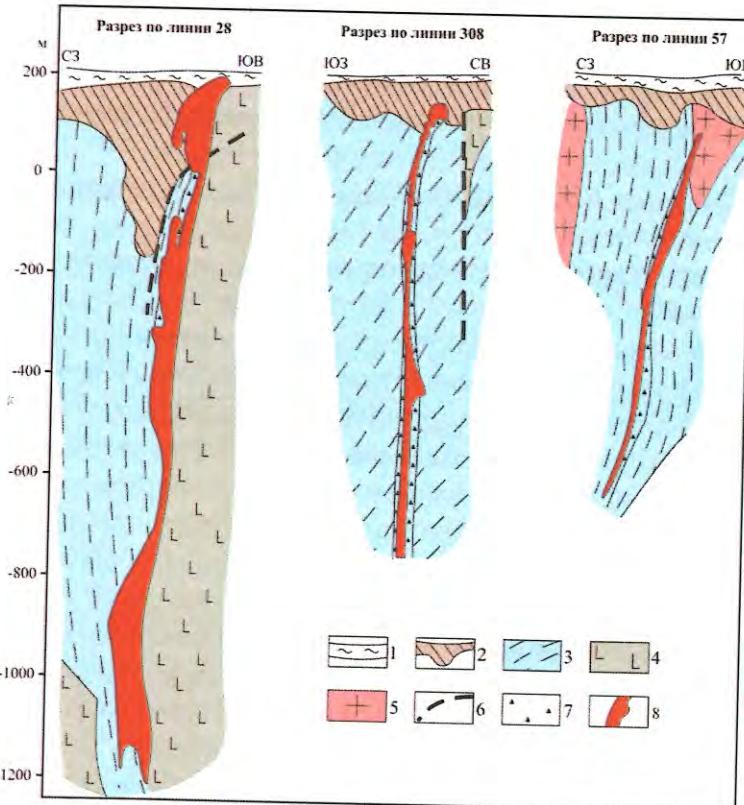


Рис. 2.30. Месторождение Косачиное. Геологические разрезы по линиям 28, 308, 57 [26].
1 – четвертичные отложения; 2 – кора выветривания; 3 – осадочно-вулканогенные отложения венда и нижнего палеозоя; 4 – кембрийские диабазы, диабазовые порфириты, их туфы; 5 – граниты; 6 – разломы; 7 – зоны брекчирования и рассланцевания; 8 – рудные тела

Крупнейшее в Казахстане гидротермальное штокверковое месторождение Косачиное приурочено, как и месторождения Стрельцовского рудного поля, к крупному вулкано-магматическому центру, заложенному в позднем протерозое и действовавшем до конца силура. В эпохи ТМА этот очаг генерировал полиформационный магматизм, два комплекса калиевых гранитов и связанные с самыми молодыми гранитами постмагматические гидротермальные ураноносные растворы. Благоприятная структурная обстановка для формирования штокверкового уранового оруденения обеспечивалась сочетанием складчатых и разрывных нарушений в разнокомпетентных раннепалеозойских породах.

Трудность выявления месторождений этого типа связана с большой рассредоточенностью отдельных штокверковых и жилообразных залежей на большой территории, перекрытой довольно мощным чехлом рыхлых отложений. Аналогичная обстановка широко распространена в складчатых поясах разного возраста, но выявление новых крупных штокверковых месторождений требует больших материальных затрат с непредсказуемыми результатами, поэтому поисковые и поисково-оценочные работы на уран в известных вулканических поясах в настоящее время проводятся в незначительных и недостаточных объемах.

2.5. Месторождения интрузивного типа

По классификации МАГАТЭ [58] к этому типу относятся интрузивные и анатектические породы разного химического состава (аляскиты, граниты, монцониты, сиениты, карбонатиты и пегматиты) содержащие в промышленных количествах уран. К ним следует добавить тесно связанные с гранитами кремниево-калиевые метасоматиты. Все они характеризуются низким содержанием урана (менее 0,05%), и в современных

условиях их отработка экономически нецелесообразна. Единственное очень крупное месторождение находится в регионе с развитой инфраструктурой, успешно отрабатывается в течение многих десятилетий. Это месторождение Россинг, расположенное в рудной провинции Юго-Западной Африки, на территории Намибии.

2.5.1. Провинция Юго-Западной Африки. Дамарский рудный пояс

В Юго-Западной Африке на территории ЮАР и Намибии известно три типа урановых месторождений:

- интрузивный в аляскитовых гранитах,
- песчаниковый в пермо-триасовых отложениях системы Кару,
- поверхностный в третично-четвертичных аллювиальных отложениях.

На территории ЮАР ни одно из этих месторождений не разрабатывается. В Намибии месторождения в аляскитовых гранитах сосредоточены в Дамарском рудном поясе.

Дамарский рудный пояс в центральной части Намибии протягивается в северо-восточном направлении на 120 км при ширине 30-50 км. Площадь его 3600 км². В его пределах выявлены четыре месторождения урана (Гоаниконтес, Россинг, Южный Россинг, Валенсия) и множество рудопроявлений в аляскитовых гранитах. Запасы и ресурсы пояса оцениваются в 450 тыс. т урана. Площадная продуктивность урана 125 т/км².

Дамарский рудный пояс расположен в юго-западной части Дамаро-Катангского мобильного пояса, протягивающегося на сотни километров через Западную Африку. Архей-протерозойские неоднократно гранитизированные метаморфические породы подверглись интенсивной складчатости и на границе протерозоя и палеозоя прорваны интрузиями калиевых гранитов. Эта эпоха получила наименование «дамарского панафриканского омоложения», завершившего формирование Африканской платформы. Возраст этих гранитов 550-460 млн. лет. В пределах Дамарского рудного пояса граниты характеризуются повышенными содержаниями урана, вплоть до промышленного. К одному из массивов таких гранитов приурочено крупнейшее месторождение Африки Россинг.

Месторождение Россинг

Радиоактивная аномалия известна с 20-х гг. прошлого века. Поисково-разведочные работы были проведены в 1967-1971 гг. компанией Рио Тинто. С 1976 г. месторождение отрабатывалось карьером, к 2010 г. добыто около 110 тыс. т урана. Первоначальные запасы урана составляли 220 тыс. т со средним содержанием урана 0,031% [16, 34, 45].

Несколько лет назад в 7 км к юго-востоку было разведано новое аналогичное месторождение в аляскитовых гранитах – Южный Россинг с запасами 103 тыс. т и средним содержанием урана 0,036%. Запасы этих двух сближенных месторождений составляют около 330 тыс. т со средним содержанием урана 0,032%.

Месторождение локализовано в апикальной части гранитного массива, где апофизы различной формы и размеров интрудируют кровлю, представленную мощной толщей метаморфических пород.

В районе месторождения отмечается крупное куполовидное поднятие с гранитным массивом в центральной части и крыльями, сложенными метаморфическими породами различного состава и текстуры (кварциты, биотитовые пироксен-амфиболовые, кордиерит-биотитовые гнейсы, амфиболиты, биотитовые сланцы, мраморы и др.). Южное крыло купола осложнено узкими синклинальными и антиклинальными складками широтного направления, рассеченными большим количеством субсогласных тел аляскитовых гранитов различной формы и размеров – от силлоподобных тел и жил до тел сложной морфологии. В крупных тела гранитов встречаются ксенолиты вмещающих пород размером до нескольких десятков метров. Во вмещающих породах широко развиты контактовые ореолы. В мраморах образуются тела скарнов мощностью до нескольких метров.

Граниты разнозернистые, структура меняется от аллитовой до пегматитовой, в ряде мест отмечаются графические структуры. Составят они из дымчатого кварца, розового микроклина, микроклин-пертита и небольшого количества неравномерно распределенного биотита. Аксессорные минералы представлены уранинитом, монацитом, цирконом, давидитом, самарситом, эвксенитом. Ураноносны участки гранитов, состоящие из кварца, микроклина и микроклин-пертита.

Выделено две зоны ураноносных аляскитовых гранитов протяженностью в широтном направлении 3 км при ширине около 1 км. Северная зона залегает среди амфиболитов и пироксен-гранитовых гнейсов, а южная – в амфибол-биотитовых сланцах, мраморах и кордиерит-биотитовых гнейсов (рис. 2.31).

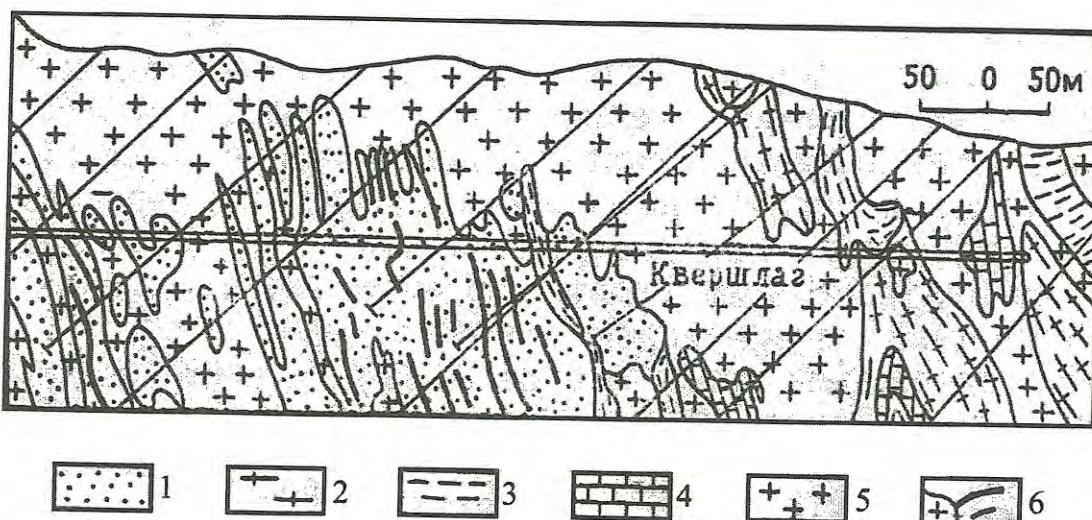


Рис. 2.31. Поперечный разрез месторождения Россинг [45].
1-2 – гнейсы: 1 – пироксен-амфиболовые, 2 – биотитовые; 3 – биотитовые сланцы; 4 – мраморы; 5 – ураноносные пегматоидные граниты; 5 – в масштабе, 6 – вне масштаба

Уран в рудах распределен весьма неравномерно. Крупные монотонные по составу участки гранитов обычно безрудны. При уменьшении мощности до жилообразного тела содержание урана возрастает. Повышенные содержания урана отмечаются в зальбандах, обогащенных биотитом. Вкрест простирации рудной зоны обогащенные ураном полосы чередуются с пропластками пустых пород. Основные рудные зоны разделены мощной пачкой безрудных пироксен-рогообманковых гнейсов. Содержание урана в рудах от 0,02 до 0,05%, среднее содержание 0,03%, в небольших по размеру участках до 0,5%.

Среди урановых минералов преобладает уранинит, образующий вкрапленность размером от микрона до 0,3 мм. Средний размер включений 0,05-0,1 мм. Уранинит содержит повышенные концентрации тория и редкоземельных элементов. Включения уранинита окружены ореолами измененных пород, по периферии которых развиты молибденит, пирит, халькопирит, борнит, арсенопирит. Уранинит ассоциируется с апатитом, сфеном, монацитом, магнетитом, гематитом, ильменитом и флюоритом. Из других первичных урановых минералов распространены бетафит, содержащий уран, ниобий и tantal, реже браннерит. Вторичные минералы, среди которых преобладает бетауранофан, замещают уранинит или развиваются по трещинкам в виде налетов и пленок. В рудах 55% урана связано с уранинитом, 40% – с вторичными минералами и 5% – с бетафитом.

Изотопный возраст уранинита (510 ± 40 млн. лет) близок к возрасту самых поздних аляскитовых гранитов.

Исследователи месторождения считают, что ураноносные аляскиты имеют магматическое происхождение, о чем свидетельствуют постоянство состава, независимо от состава вмещающих пород, и графические структуры. Уран концентрировался в

остаточном расплаве и отлагался в результате понижения Eh и повышения pH при асимиляции магнезиально-железистых пород и мраморов.

* * *

Основные факторы, определившие крупные размеры месторождения: первичная «зараженность» ураном верхней мантии на уровне гранитообразования, ступенчатое накопление урана в нескольких генерациях гранитов и в остаточном расплаве самых поздних и широко развитых аляскитовых гранитов, наличие благоприятных известковистых и магнезиально-железистых пород в кровле гранитного массива.

2.6. Метасоматические месторождения

В качестве самостоятельного промышленного типа месторождений были впервые выделены советскими геологами в 60-х гг. прошлого века. К этому типу были отнесены месторождения в натриевых метасоматитах Украины и калиевых метасоматитах Якутии. По классификации МАГАТЭ [33,58] к типу метасоматических урановых месторождений относятся месторождения в областях ТМА докембрийских щитов, локализованные в приразломных щелочных метасоматитах, развитых по различным по составу породам (гранитам, мигматитам, гнейсам и железистым кварцитам), представленных альбититами, эгириниитами, щелочно-амфиболовыми и железисто-карбонатными породами. Включают линзообразные и штокообразные рудные тела мощностью от нескольких до десятков метров и протяженностью по простиранию сотни метров, а на глубину – до 2 км. Руды по составу уранинит-броннеритовые, рядовые по содержанию урана. По запасам месторождения относятся к крупным и средним. В качестве примеров можно назвать месторождения Украины и Якутии, а также Бразилии (Лагоа Реал, Итатая, Эспинарес) и Швеции (Арьеплуг).

Крупные месторождения урана (более 50 тыс. т) известны в Центрально-Украинской, Алдан-Тимптонской провинциях и в провинции Восточно-Бразильского щита [54].

2.6.1. Центрально-Украинская провинция

Приурочена провинция к раннепротерозойскому мобильному поясу, пересекающему в меридиональном направлении центральную часть Украинского щита. Центральную часть мобильного пояса занимает крупный Корсунь-Новомиргородский pluton среднепротерозойского возраста. Мобильный пояс и pluton ограничены с запада и востока меридиональными глубинными разломами. Урановые метасоматические месторождения связаны с Криворожско-Кременчугским разломом, отделяющим на востоке Средне-Приднепровский архейский кратон от мобильного пояса, с Кировоградским разломом на восточном контакте Корсунь-Новомиргородского plutона и Звенигородско-Анновским разломом на западном контакте этого plutона. От Звенигородско-Анновского разлома северо-западного простирания отчленяется несколько меридиональных глубинных разломов, которые в южной части Корсунь-Новомиргородского plutона контролируют урановые месторождения Новоконстантиновского рудного узла.

В Центрально-Украинской провинции выделяются два рудных района: Северо-Криворожский и Кировоградский, а в Кировоградском – Кировоградская рудная зона, Новоконстантиновский рудный узел и отдельное Ватутинское рудное поле.

Кроме метасоматических месторождений на территории провинции известно три мелких месторождения в кремниево-калиевых метасоматических и около десятка гидрогенных месторождений в третичных бучагских отложениях чехла.

Площадь Центрально-Украинской провинции 420 тыс. км², запасы и ресурсы урана 420 тыс. т. Крупные месторождения урана известны в Новоконстантиновском рудном узле и Кировоградской рудной зоне.

Все месторождения, кроме месторождений Северо-Криворожского района, локализованы в альбититах. Месторождения Северо-Криворожского района (Желтореченское и Первомайское) служат ярким примером зависимости состава ураноносных метасоматитов от состава вмещающих пород [21]. При взаимодействии однотипных натрово-карбонатных гидротермальных растворов и аллюмосиликатных пород (гранитов, биотитовых гнейсов) образуются альбититы, и магнезиально-железистых (железистых кварцитов, железных руд, амфибол-магнетитовых сланцев) – железокарбонатные метасоматиты, известковистых пород (доломитов) – уранофосфорные метасоматиты. Меняется состав урановых минералов. В альбититах это – браннерит, уранинит, настуран и коффинит, в железо-карбонатных метасоматитах – уранинит, в уранофосфорных – урансодержащие апатит и циркон (малахит).

2.6.1.1. Новоконстантиновское рудное поле

Рудное поле находится в пределах Новоконстантиновского рудного узла (рис. 2.32), в котором урановые месторождения приурочены к сети северо-западных, северо-восточных и меридиональных разломов в массиве микролитовых порфировидных гранитов Ново-Украинского массива, примыкающего с юга к массиву гранитов рапакиви Корсунь-Новомиргородского plutона. Новоукраинские граниты розового цвета с удлиненными кристаллами полевых шпатов хорошо известны в качестве широко распространенного в России и на Украине строительного материала. В северо-западной части массива отмечаются разнообразные по форме тела более молодых гранитов Кировоградско-Житомирского комплекса. В пределах месторождений граниты характеризуются нижекларковыми содержаниями урана и высоким торий-уранным отношением. Небольшие радиоактивные аномалии интенсивностью более 25 мкр./час выявлены в центральной части массива. Тела альбититов и альбитизированных пород, контролируемые узлами пересечения разломов, характеризуются повышенной радиоактивностью урановой природы. В пределах рудного узла выявлено и разведано семь месторождений урана. Два на юге (Партизанское и Кировское) с общими запасами 10,2 тыс. т и одно мелкое месторождение на западе (Апрелевское) с запасами 5,3 тыс. т. Остальные четыре месторождения входят в состав Новоконстантиновского рудного поля.

Новоконстантиновское рудное поле состоит из четырех месторождений (Новоконстантиновское, Лесное, Летнее и Докучаевское) с общими запасами и ресурсами 170 тыс. т урана. Площадь 40 км². При формировании крупных тел ураноносных альбититов гидротермальными растворами привнесено огромное количество натрия (альбититы содержат 7-10% Na₂O на фоне гранитов, где Na₂O менее 1%). Площадная продуктивность оксида натрия в рудном поле более 2 млн. т/км².

К крупным относится только Новоконстантиновское месторождение, запасы урана в Докучаевском месторождении 47,2 тыс. т с содержанием 0,08%, в Лесном – 12,5 тыс. т (0,12%), в Летнем – 15 тыс. т (0,1%).

Новоконстантиновское месторождение

Открыто месторождение в 1971 г. Кировской экспедицией Первого ГУ Министерства геологии СССР при проведении глубинного специализированного геологического картирования с применением комплекса геофизических методов (гравиметрия, магнитика, электроразведка) и картировочного бурения. Утвержденные запасы урана 94 тыс. т со средним содержанием 0,14%.

Месторождение вскрыто шахтами и тремя горизонтами горных выработок (-300, -292 и -285 м). Находится в резерве на сухой консервации.

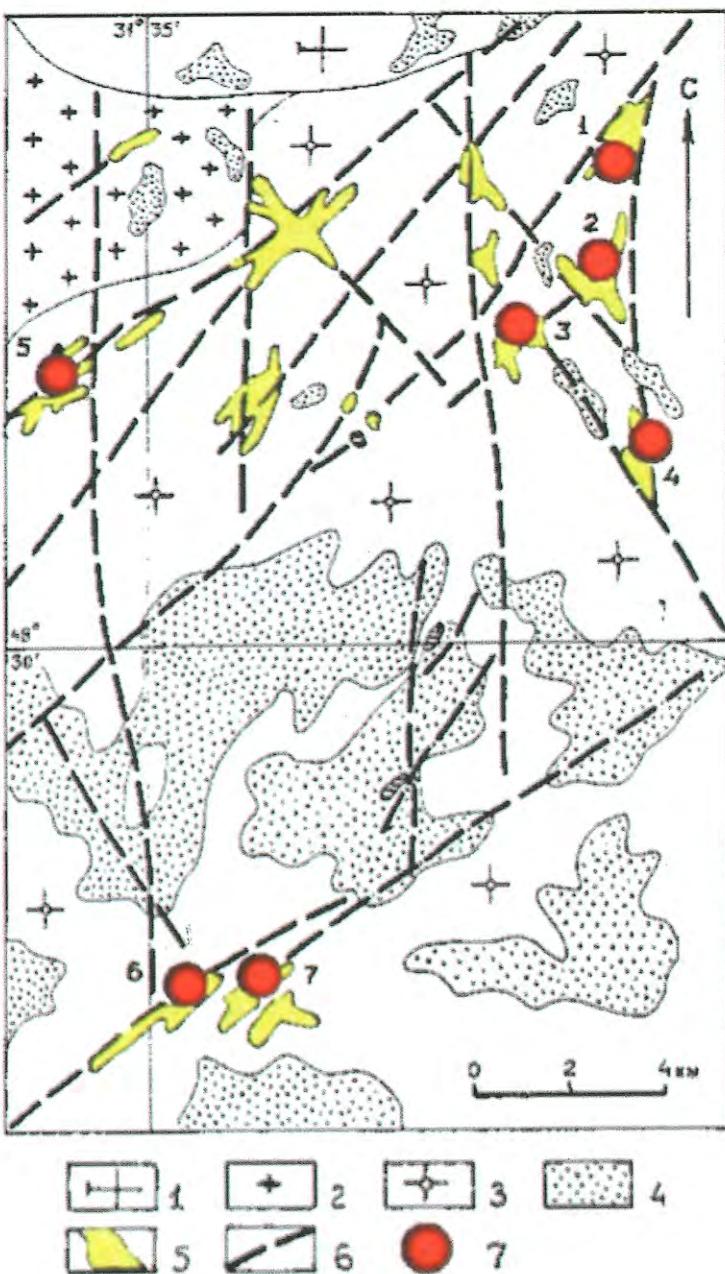


Рис. 2.32. Новоконстантиновский рудный узел.

1 – граниты рапакиви; 2 – граниты кировоградско-житомирского комплекса; 3 – граниты новоукраинские; 4 – торий-уранные радиоактивные аномалии интенсивностью более 25 мкр/ч; 5 – урановые радиоактивные аномалии интенсивностью более 25 мкр/ч в карбонатно-натриевых метасоматитах; 6 – разломы; 7 – месторождения урана:
1 – Новоконстантиновское, 2 – Лесное, 3 – Летнее, 4 – Докучаевское, 5 – Апрелевское;
6 – Партизанское, 7 – Кировское

Месторождение расположено в 3 км к югу от контакта с гранитами рапакиви. Фундамент перекрыт чехлом рыхлых отложений мощностью 30-60 м. Участок месторождения площадью 2 км² разбит пересекающимися разломами северо-восточного, северо-западного, меридионального и широтного простирания. Граниты вблизи разломов интенсивно катаклизированы и альбитизированы (рис. 2.33, 2.34). В плане на поверхности фундамента откартировано два крупных рудовмещающих тела альбититов. Одно расположено на северо-западе участка, имеет северо-восточное простирание, протяженность его 1200 м, мощность 150 м. Другое тело альбититов в центральной части участка протягивается на 1800 м при максимальной мощности 300 м. К юго-востоку оно расчленяется на две ветви меридионального

простирания длиной 800 и 500 м и мощностью 300 и 150 м соответственно. Общая площадь альбититов 0,65 км². На глубину альбититы прослежены до 2 км.

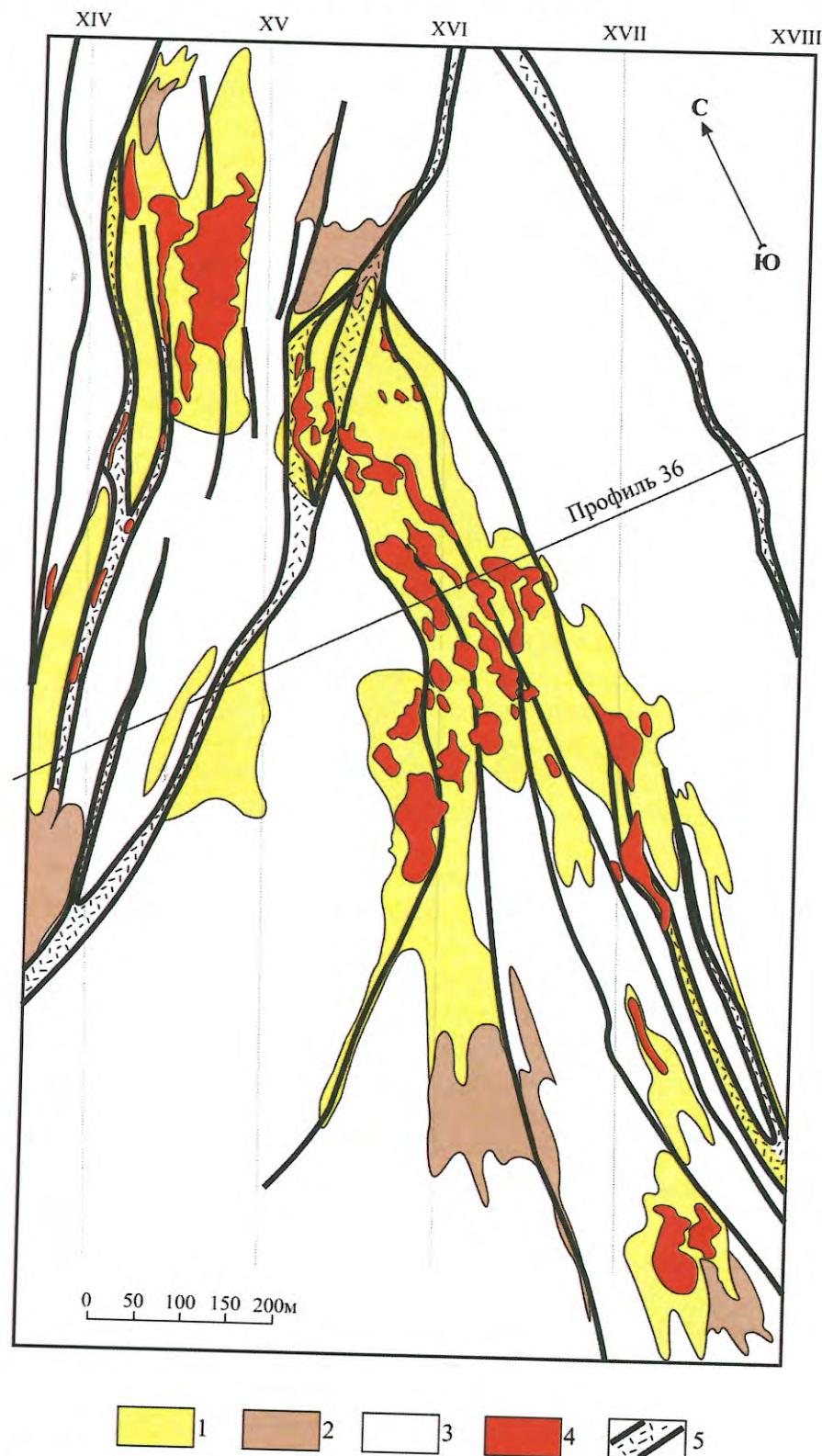


Рис. 2.33. Новоконстантиновское месторождение. План горизонта -300 м.
1 – альбититы; 2 – десилицизованные граниты; 3 – граниты; 4 – рудные тела; 5 – тектонические нарушения

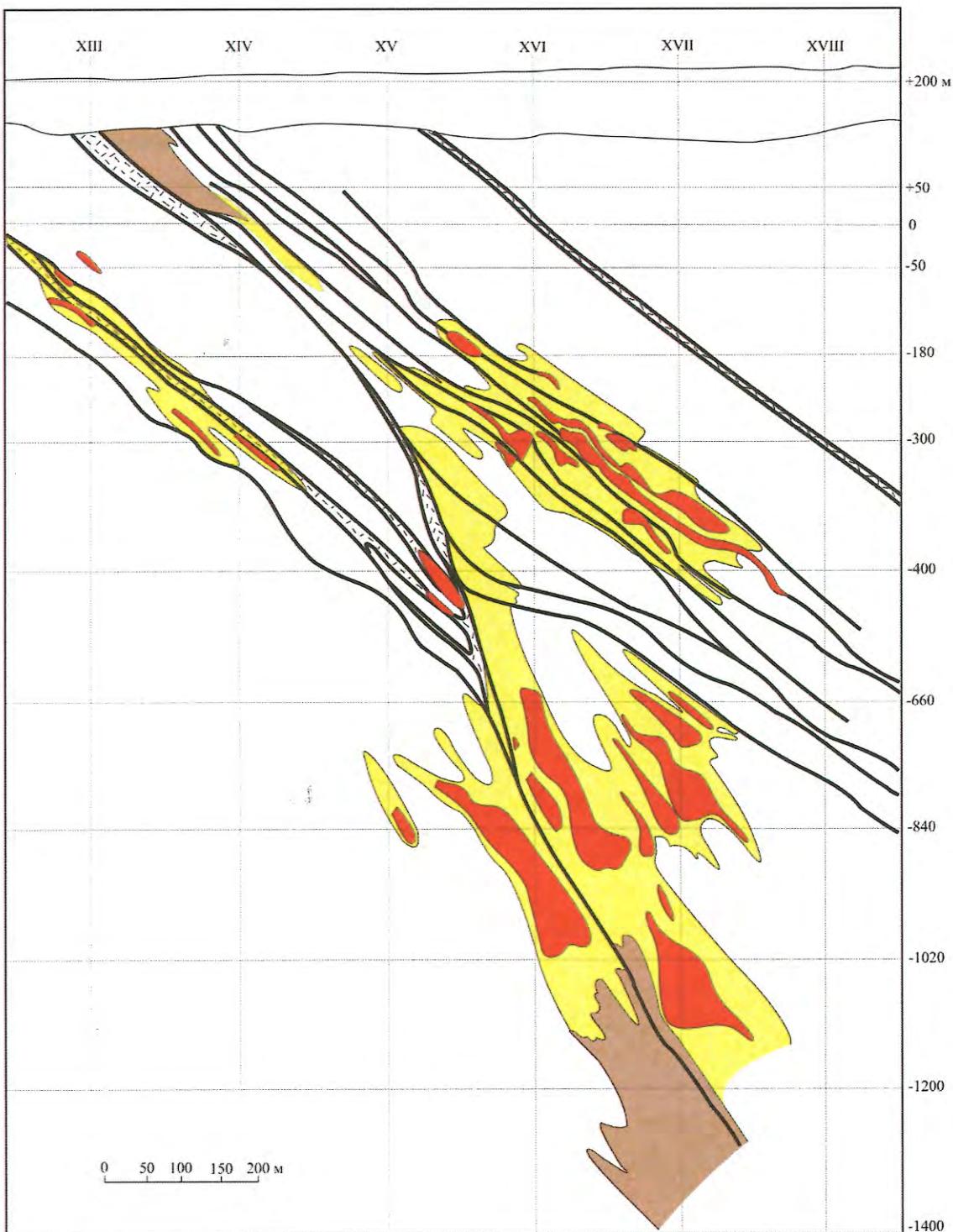


Рис. 2.34. Новоконстантиновское месторождение. Разрез по профилю 36.
Условные обозначения см. на рис. 2.33

Разломы обычно представлены несколькими кулисообразными швами бластомилонитов и бластокатаклазитов мощностью от первых сантиметров до 10-15 м.

Предальбититовые милониты, катаклазиты и брекчии наследуют направления более древних разломов. Вдоль них наблюдаются линейновытянутые зоны объемного катаклаза, обладающие повышенной проницаемостью для гидротермальных растворов, вследствие чего они подвергаются наиболее интенсивной альбитизации. Крупные швы разломов, сложенные брекчиями, обладают очень высокой проницаемостью, поднимающиеся по ним растворы не успевают прореагировать с раздробленным материалом гранитов, поэтому альбититы в них не образуются. Напротив, отмечается

интенсивный вынос кремнезема, приводящий к формированию кавернозных полевошпатовых пород – сиенитов и десилицитизированных гранитов.

Альбититы характеризуются крупнопорфиробластической текстурой и бластокатастической и микробрекчиевой структурой. Крупные порфиробласти альбита, достигающие размера 20-30 мм, заключены в мелкозернистую массу, которая состоит из темноцветных минералов, альбита, карбонатов и рудных минералов. Темноцветные минералы представлены щелочными амфиболами, эгирином, гидрослюдами и хлоритом, акцессории – апатитом, цирконом, сфеном, монацитом.

Внешняя зона альбититов выражена альбит-микроклиновыми породами, которые называются сиенитами. В гранитах на контакте с сиенитами полевые шпаты замещаются серицитом, выделяются хлорит, эпидот, оксиды железа и титана. Внешняя зона имеет небольшую мощность и по площади занимает не более 20% от общей площади тела альбититов.

Рудные залежи располагаются исключительно внутри тел альбититов и имеют линзообразную, плитообразную и штокообразную форму. Размеры их колеблются в широких пределах: длина по простирианию – от первых десятков до 1000 м, по падению – от первых десятков до 700 м, столовая мощность – от 0,4 до 150 м.

Большая часть запасов сосредоточена в этаже 500-1000 м от поверхности (59%), в этаже 1000-1500 м – 11% запасов, но на глубину оруденение не оконтурено.

Основные урановые минералы в рудах – уранинит и браннерит, менее распространены настуран, коффинит и урановые черни. Из вторичных минералов урана встречаются казолит, уранофан и бета-уранотил. Урансодержащие минералы представлены сфеном, цирконом, давидитом, лейкоксеном и гидроокислами железа. Браннерит-уранинитовые руды локализованы в рибекит-эгириновых альбититах, при наложении хлорит-флогопитовой ассоциации выделяются настуран и коффинит, увеличивается количество карбонатов. Общее содержание карбонатов в рудах невелико – в пределах 3-6%.

В рудных альбититах отмечается повышенное по сравнению с исходными гранитами содержание U, V, Zr, Be.

Температура гомогенизации газово-жидких включений в карбонатах 200-300°C. Возраст оруденения, определенный по 15 пробам уранинита, 1806 ± 84 млн. лет.

2.6.1.2. Кировоградская рудная зона

Кировоградский разлом прослеживается в меридиональном направлении через весь Украинский щит по восточной границе Корсунь-Новоукраинского гранитоидного блока [3]. К западу от него преобладают гранитоиды Новоукраинского массива и граниты Корсунь- Новомиргородского plutона, а к востоку – гнейсы Принингульской синеклизы.

Разлом имеет глубинный характер, что подтверждается глубинным сейсмическим зондированием по наличию уступа в поверхности Мохо с амплитудой 3-4 км по нескольким профилям.

В породах фундамента зона прослеживается в виде серии субпараллельных кулисообразных, часто сочленяющихся долгоживущих разломов, представленных тектонитами нескольких этапов деформаций. Мигматиты и гнейсы в зоне разлома интрузированы небольшими вытянутыми вдоль зоны телами мелко- среднезернистых гранитов с повышенными содержаниями урана (9 г/т).

На 50-километровом интервале Кировоградского разлома выявлено шесть месторождений урана с общими запасами 151 тыс. т (Северинское – 38,4 тыс. т, Подгайцевское – 11,8 тыс. т, Щорсовское – 13,5 тыс. т, Центральное – 58 тыс. т, Мичуринское – 23 тыс. т, Юрьевское – 6,4 тыс.т). Площадь рудной зоны 50 км². Площадная продуктивность урана 3000 т/км². Промышленное оруденение было впервые установлено в 1964 г. на Мичуринском месторождении, которое до сих пор эксплуатируется. Кроме того, уран добывается и на самом крупном Центральном месторождении.

Месторождение Центральное

Выявлено месторождение в 1969 г. Запасы урана 58 тыс. т при среднем содержании в рудах 0,095%. Расположено на окраине областного города Кировограда, соединено подземной горной выработкой на глубине 280 м, длиной 5 км с Ингульским шахтным полем, отрабатывающим Мичуринское месторождение.

На Центральном, как и на других месторождениях урана Центрально-Украинской провинции, урановое оруденение контролируется несколькими разноориентированными структурами, расположенными на разных гипсометрических уровнях.

На участке месторождения полоса среднепорфиробластических мигматитов, расположенная между толщей гнейсов на востоке и массивом средне-мелкозернистых гранитов на западе, изменяет свое простирание с меридионального на юге на северо-западное – на севере. В этом же направлении меняют простирание и отдельные разломы Кировоградской зоны. Между двумя такими разломами – Кущевским на востоке и Западном на западе, – отстоящими друг от друга на расстоянии 1000-1200 м, проходит соединяющий их флексураобразный Восточный разлом. В центре он имеет широтное простирание и северное падение под углами 55-70°. На западном и восточном флангах смыкается соответственно с Западным и Кущевским разломами.

Рудовмещающие порфиробластические мигматиты насыщены послойными останцами биотитовых гнейсов, телами мелко-среднезернистых гранитов и жилами пегматитов.

Вдоль Западного и Восточного разломов, сложенных разновозрастными тектонитами, интенсивно проявлены процессы регрессивного метаморфизма. Все известные тела альбититов расположены внутри ореолов диафтореза. По Западному разлому альбититы прослежены на 2,5 км по простиранию и более 1,5 км на глубину при мощности 100-300 м, по Восточной зоне – на 1 км по простиранию, на 700 м на глубину при мощности 100-500 м. Максимальная мощность альбититов наблюдается на участке сочленения разломов (рис. 2.35).

На месторождении выявлено более 80 рудных залежей плитообразной и линзовидной формы. В Западной зоне рудные залежи локализованы на глубинах 350-1350 м в лежачем боку главного шва разлома. Мощность его достигает 20-30 м, представлен он главным образом милонитами. Менее мощные милонитовые швы, проходящие западнее, контролируют большую часть рудных залежей. В южной части месторождения эти швы сливаются в единый мощный разлом, к которому приурочена крупная рудная залежь. Длина залежи по простиранию 900 м, по падению – 800 м, мощность до 70 м.

В Восточной зоне самое крупное тело альбититов расположено в висячем боку разлома на его широтном интервале. Длина этого тела по простиранию 900 м, по падению – 700 м, мощность 150 м. Оно вмещает самую крупную рудную залежь протяженностью по простиранию 380 м, по падению – 400 м, мощность до 70 м. В лежачем боку разлома локализовано меньшее по размерам тело альбититов, вмещающее средние и мелкие рудные залежи.

Среди альбититов встречаются все наиболее распространенные разновидности – эгирин-рибекитовые, хлорит-карbonат-гематитовые и флогопит-гидрослюдистые. Руды в основном уранинит-броннеритовые, в альбититах с хлоритом и флогопитом броннерит частично разрушен, появляются настуран и коффинит. Встречаются урановые черни и желтый силикат урана.

Соотношение между альбититами и рудами различного состава меняется от залежи к залежи. Например, в самой крупной залежи Восточной зоны верх и низ сложены эгирин-рибекитовыми альбититами и уранинит-броннеритовыми рудами, а центральная часть – гематит-карбонат-хлоритовыми альбититами и коффинит-настуран-броннеритовыми рудами. В Западной зоне в линзообразном рудном теле периферические части сложены гематит-карбонат-хлоритовыми альбититами и коффинит-настуран-броннеритовыми рудами, вся центральная часть сверху донизу – эгирин-рибекитовыми альбититами и

уранинит-броннеритовыми рудами, а по оси рудной залежи вдоль тектонического нарушения развиты флогопитовые альбититы, в которых браннерит почти полностью разрушен, и урановые минералы представлены уранинитом, настураном и коффинитом.

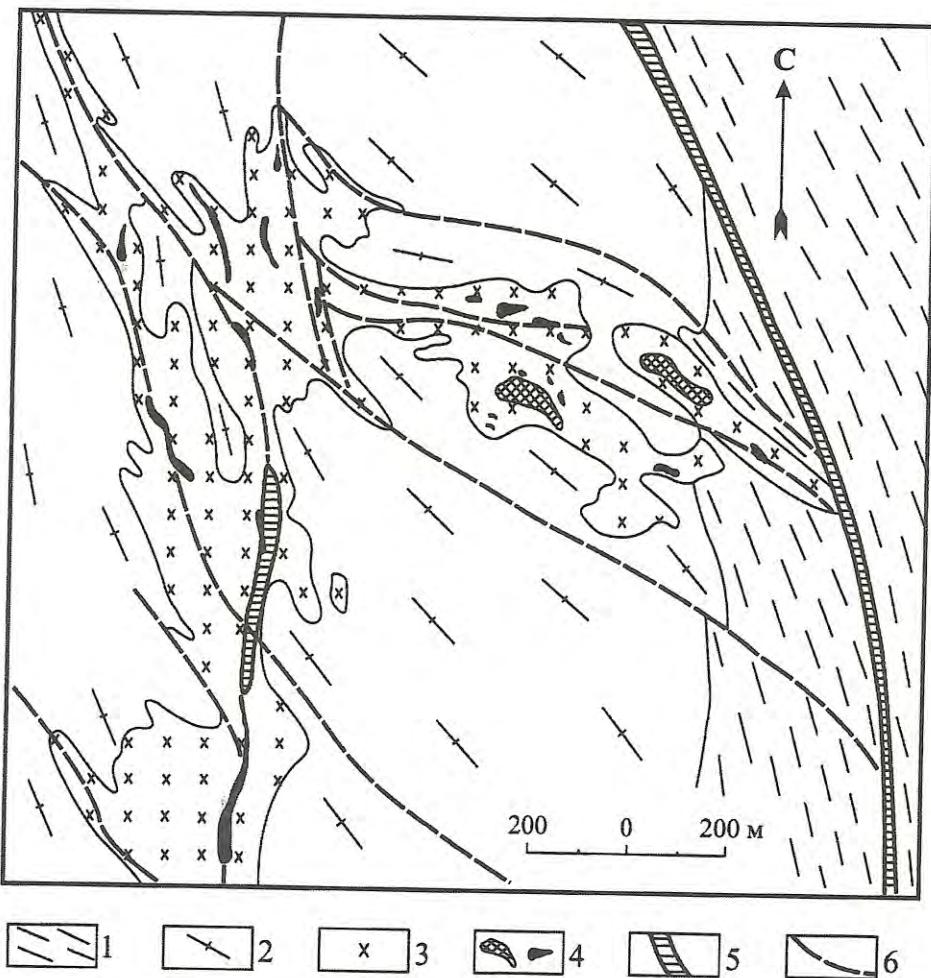


Рис. 2.35. Геологический план горизонта 170м Центрального месторождения.
1 – гнейсы; 2 – мигматиты кировоградских гранитов; 3 – альбититы; 4 – урановые руды;
5 – разломы в масштабе; 6 – разломы внемасштабные

Изохронный возраст уранового оруденения, определенный по 15 пробам настурана составляет 1808 ± 20 млн. лет.

* * *

Размеры урановых метасоматических месторождений в Центрально-Украинской провинции определяются главным образом структурными факторами. Однообразный минеральный составrudовмещающих альбититов и руд, одинаковые средние содержания урана в рудах (0,08-0,14%) во всех пятнадцати разномасштабных месторождениях провинции, разбросанных на большой территории, свидетельствуют об однотипности источника гидротермальных растворов. Следовательно, величина запасов месторождений не могла определяться особенностями источника. В данном случае размеры месторождений однозначно зависят от количества и общих объемовrudовмещающих структур.

В крупных месторождениях, таких как Новоконстантиновское и Центральное, на ограниченной территории сосредоточены десятки структурных «ловушек» различного объема, сложенных катаклизованными хорошо проницаемыми породами в узлах пересечения и сопряженияrudоподводящих разломов, в их изгибах и разветвлениях, на участках пересечения складчатых структур. В результате в пределах этих «ловушек» формируются десятки рудных тел, слагающие крупные залежи месторождений.

Характерная особенность метасоматических месторождений провинции – отсутствие пространственной связи с близодновременными магматическими породами. Месторождения образовались в эпоху среднепротерозойской тектономагматической активизации, проявленной в раннепротерозойском складчатом поясе. Крупнейшим проявлением ТМА является образование в центральной части провинции среднепротерозойского Корсунь-Новомиргородского plutона, сложенного триадой кислых, основных и щелочных пород, характерных для глубинных мантийных магматических очагов. Генерируемые этими очагами ураноносные гидротермальные растворы, восходящие по глубинным разломам в сферу рудоотложения, могли пространственно разобщаться с магматическими дереватами тех же очагов.

2.6.2. Алдан-Тимптонская провинция

2.6.2.1. Эльконский урановорудный район. Зоны Южная и Северная

Провинция охватывает Алдано-Тимптонский мегаблок в центральной части Алданского щита, сложенный гранитизированными метаморфическими архей-раннепротерозойскими породами. В центральной части мегаблока расположен прогиб, выполненный венд-кембрийскими карбонатными отложениями мощностью до 1 км.

До мезозоя область развивалась в режиме устойчивого медленного воздымания, а в ранней юре испытывала интенсивную тектономагматическую активизацию, которая выражалась в блоковых движениях с образованием системы грабенов и горстов. Одновременно происходило внедрение субвулканических интрузий щелочного комплекса, представленных пластовыми и штокообразными телами сиенит-диорит-порфиров, дайками вогезитов, минеттов, роговообманковых порфиров, бостонитов, ортофиров. Более локально проявлены магматические образования верхней юры-нижнего мела: штоки эгириновых и нефелиновых сиенитов, дайки сиенит-порфиров, сельвсбергитов, тингуайтов, грорудитов. Возраст магматических пород колеблется от 210-170 млн. лет для щелочноземельных даек и пластовых интрузий до 105-85 млн. лет для эгириновых гранитов, даек грорудитов.

Общая металлогения провинции характеризуется развитием золоторудной и урановой минерализации и в меньшей степени – серебра, молибдена и элементов платиновой группы. Месторождения парагенетически связаны с мантийным мезозойским магматизмом и обособлены в виде отдельных районов и рудных полей. Золоторудные месторождения известны в Куранахском и Лебединском рудных полях в центральной части провинции. В Куранахском рудном поле месторождения приурочены к карбонатным породам верхней части платформенного чехла и юрским песчаникам, в Лебединском рудном поле – к карбонатным породам нижней части платформенного чехла и в меньшей степени – к мезозойским интрузиям и гранитогнейсам фундамента. Урановые месторождения сосредоточены в разломах архей-раннепротерозойского фундамента, образующего приподнятый Эльконский блок (горст) в северо-восточной части провинции.

Эльконский урановорудный район имеет площадь около 3000 км². В начале 60-х гг. здесь было выявлено 13 месторождений урана с общими запасами 345 тыс. т. (табл. 2.4). Запасы утверждены ГЗК СССР в 1981 г. Прогнозные ресурсы категории Р₁ составляют 272,7 тыс. т.

На всех месторождениях района с ураном ассоциируется золото и серебро. Запасы золота оценены в 188,4 т при среднем содержании в рудах 0,7-1,4 г/т. На одном из участков зоны Южной (Дружном) установлены промышленные концентрации молибдена, а в концентрате молибденита – высокие содержания рения.

Около 93% запасов района сосредоточено в рудном поле, объединяющем две сближенные субпараллельные рудные зоны – Южную и Северную. Рудный пояс, или рудное поле, площадью 80 км² обладает запасами и ресурсами урана – 550 тыс. т. Площадная продуктивность урана 6875 т/км² превышает таковую из всех известных в мире рудных полей и поясов.

Таблица 2.4

Запасы и ресурсы урана, золота и серебра
в месторождениях Эльконского урановорудного района

№ п/п	Месторождения (рудная зона)	Категория запасов	Запасы						Ресурсы урана	
			уран		золото		серебро			
			т	сод. %	кг	сод. г/т	т	сод. г/т	т	сод. %
1	Южное	B+C ₁ +C ₂	257816	0,146	141029	0,8	1784	10,1	195000	0,1
2	Северное	C ₂	58556	0,149	29220	0,7	485,5	12,4	36000	0,145
3	Центральное	C ₂	3065	0,156	2000	1,0	20	10	-	-
4	Весеннее	C ₂	1637	0,148	1100	1,0	11	10	-	-
5	Агдинское	B+C ₁ +C ₂	1983	0,123	4300	1,4	31	10	1100	0,1
6	Снежное (Пологое)	B+C ₁ +C ₂	7934	0,16	4300	0,7	61	10	8100	0,13
7	Невское	C ₂	2472	0,147	2000	1,2	17	10	2500	0,148
8	Надеждинское	C ₁ +C ₂	1475	0,137	1000	0,7	14	10	30000	0,14
9	Интересное	C ₂	2814	0,354	320	0,4	-	-	-	-
10	Володина	C ₂	945	0,132	1000	1,4	7	10	-	-
11	Зона 517	C ₂	688	0,204	-	-	-	-	-	-
12	Зона 511-565	C ₂	971	0,168	1000	1,7	6	10	-	-
13	Зона 510	C ₂	1625	0,146	1100	1,0	11	10	-	-
Всего:			341981	0,147	188369	0,8	2447,5	10	272700	0,013

Эльконский горст сложен сильно дислоцированными архей-раннепротерозойскими породами, метаморфизованными в гранулитовой и амфиболитовой фациях: кордиеритовыми, пироксеновыми, пироксен-амфиболовыми и биотитовыми гнейсами, кварцитами, мраморами. Интенсивная многофазная гранитизация привела к образованию мигматитов, небольших массивов и жилообразных тел микроклиновых гранитов с возрастом 2000 ± 100 млн. лет. С ними связано развитие калий-кремниевых метасоматитов с бедной урано-ториевой минерализацией.

В западной части района широко распространены мезозойские магматические породы среднеюрского этапа, представленные пластовыми и штокообразными телами сиенит-диорит-порфиров, бостонитов и ортофиров. В северо-западной части района проявлены магматические образования верхней юры–нижнего мела: штоки эгириновых и пегматитовых пород и дайки сиенит-порфиров.

По материалам гравиметрических съемок и магнитно-теллурического зондирования [12,17] магматические очаги, генерирующие мезозойские интрузии, были расположены в мантии на глубинах 200, 100 и 50 км. Предполагается, что тела щелочных магматических пород на глубинах 15-20 км сливаются в единый массив с апофизами в гранитно-метаморфический слой.

Эльконский горст разбит серией разновозрастных разноориентированных тектонических нарушений, среди которых преобладают разломы северо-западного простирания (рис 2.36), заложенные в раннем протерозое и подновленные в эпоху ТМА. Вдоль этих разломов под воздействием гидротермальных растворов образовались протяженные плитообразные тела карбонатно-калишпатовых метасоматитов, несущие тонкую вкрапленность урановых минералов, главным образом браннерита и золотосодержащего пирита.

Интересно, что в полосе северо-западного простирания протяженностью 50 км и шириной 25 км все крутопадающие тектонические нарушения этого простирания вмещают в той или иной мере ураноносные метасоматиты. Выявлено около 40 таких зон. По-видимому, источник ураноносных гидротермальных растворов занимал значительную по размерам площадь – порядка 1500 км^2 – и находился на больших глубинах в очаге зарождения щелочной магмы. За пределами этой площади те же самые разломы оказываются безрудными. Сквозьмагматические флюиды поднимались по глубинным

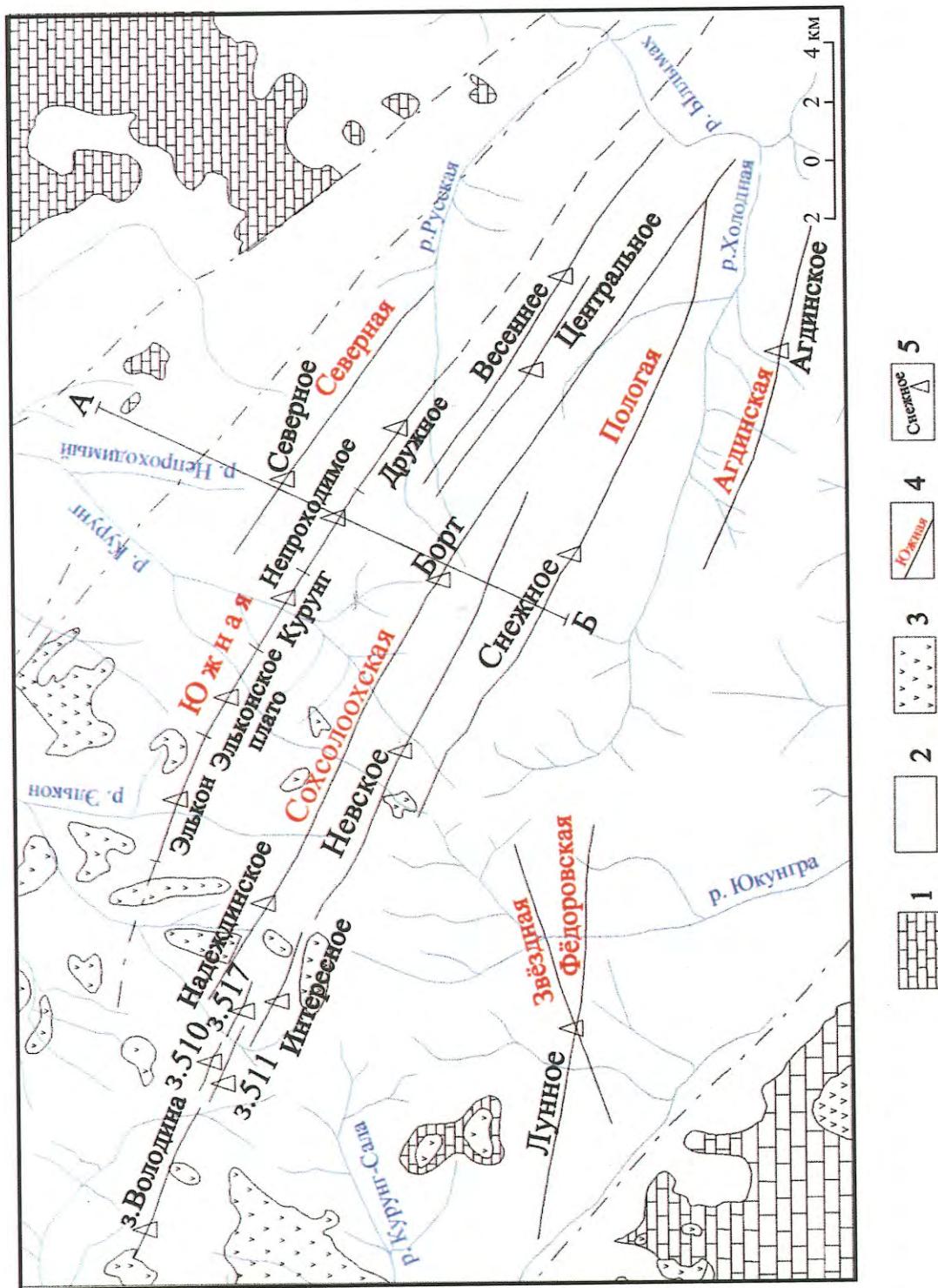


Рис. 2.36. Схема расположения рудных зон Эльконского урановорудного района.
 1 – нижний кембрий: известняки, доломиты; 2 – архей: гнейсы, граниты, кристаллические сланцы; 3 – интрузии мезозойского активизационного комплекса (субщелочные породы); 4 – рудные зоны; 5 – месторождения

разломам, формируя на большой площади совершенно однотипную по минеральному составу и содержанию урана минерализацию. В этом случае, естественно, что размеры месторождений определялись главным образом размерами (протяженностью и мощностью) рудовмещающих структур. Таковыми в Эльконском районе оказались рудные зоны Южная и Северная.

Месторождение Южное

Контролируется месторождение самой крупной в районе одноименной тектонической зоной. Ее протяженность более 25 км, простирание северо-западное (290-315°), мощность 10-20 м, в раздувах – до 50 м. Падение юго-западное под углом 60-75°. Зона образована одной или несколькими сближенными дайками метадиоритов, перемежающихся бластомилонитами и бластокатаклазитами, окруженными кварц-микроклиновыми метасоматитами. Мощность даек метадиоритов от 2 до 15 м, бластокатаклазитов – от нескольких до 20 м.

Южная зона рудоносна на протяжении 20 км. Она подразделяется на пять участков (с запада на восток): Элькон, Эльконское плато, Курунг, Непроходимый, Дружный, которые в последнее время по коммерческим соображениям приобрели статус самостоятельных месторождений. Урановое оруденение установлено в 1961-1962 гг. при заверке аэрогаммарадиометрических аномалий.

Запасы урана утверждены ГКЗ СССР в 1981 г. (табл. 2.5). На участках Элькон и Непроходимый в 2008-2011 гг. проведена детальная разведка, на участке Дружный разведка продолжается. На четырех участках руды золотоурановые, на Дружном молибден-золотоурановые.

Таблица 2.5

Запасы и средние содержания U, Au, Ag, Mo в рудах зоны Южная
(утверждено ГКЗ СССР 27.05.1981)

Участки	Уран		Золото		Серебро		Молибден	
	т	сод. %	т	сод. г/т	т	сод. г/т	т	сод. %
Элькон	21958	0,196	8,32	0,7	136,4	12,2		
Эльконское плато	64285	0,154	30,55	0,7	456,4	11,0		
Курунг	54849	0,159	33,04	1,0	457,1	13,2		
Непроходимый	21486	0,119	26,30	1,4	127,0	7,0		
Дружный	95238	0,134	42,83	0,6	607,1	8,5	41632	0,076
Всего по Южной зоне	257816	0,146	141,0	0,8	1784,0	10,1		

При разведке месторождение вскрыто тремя шахтами и несколькими штольнями. На участках Эльконское плато, Курунг и Дружный пройдены горизонтальные горные выработки.

В зоне Южной рудоносные мезозойские структуры разлома представлены зонками катаклаза, дробления и брекчирования, по которым развиты ураноносные метасоматиты. Концентрации урана в плоскости тектонометасоматической зоны распределены весьма неравномерно. Пустые участки, бедные и рядовые руды чередуются с участками повышенной продуктивности. Бедные руды преобладают в приповерхностной части месторождения, а столбы относительно богатых руд (ОБР) тяготеют к нижним горизонтам и на глубину не оконтурены.

Относительно богатые руды установлены на всех пяти участках, их наличие на участках Эльконского плато и Курунг подтверждено горными выработками (рис. 2.37). Они образуют группу сближенных линз и столбов, склоняющихся в плоскости основного разлома в западном направлении под углами 60-70°. Протяженность их по склонению от 400-500 до 1500 м. Один из самых крупных столбов находится на участке Эльконское плато (рис. 2.38). Он протягивается с нулевой отметки на всю разведенную глубину.

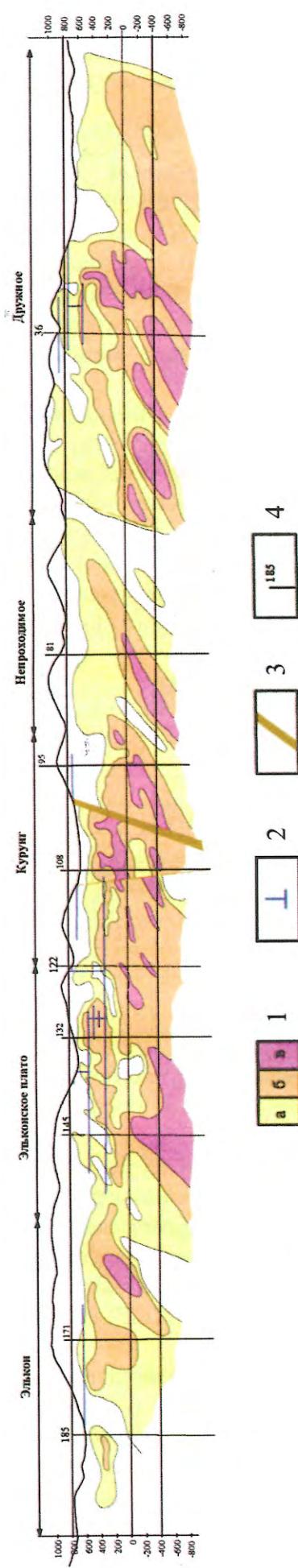


Рис. 2.37. Продольный разрез зоны Южной. Изолинии продуктивности оруденения. 1 – продуктивность оруденения (Σ_{mc}); а – 0,05-0,30, б – 0,30-1,00, в – >1,00; 2 – горные выработки; 3 – поперечные разрывные нарушения; 4 – разведочные профили и их номера

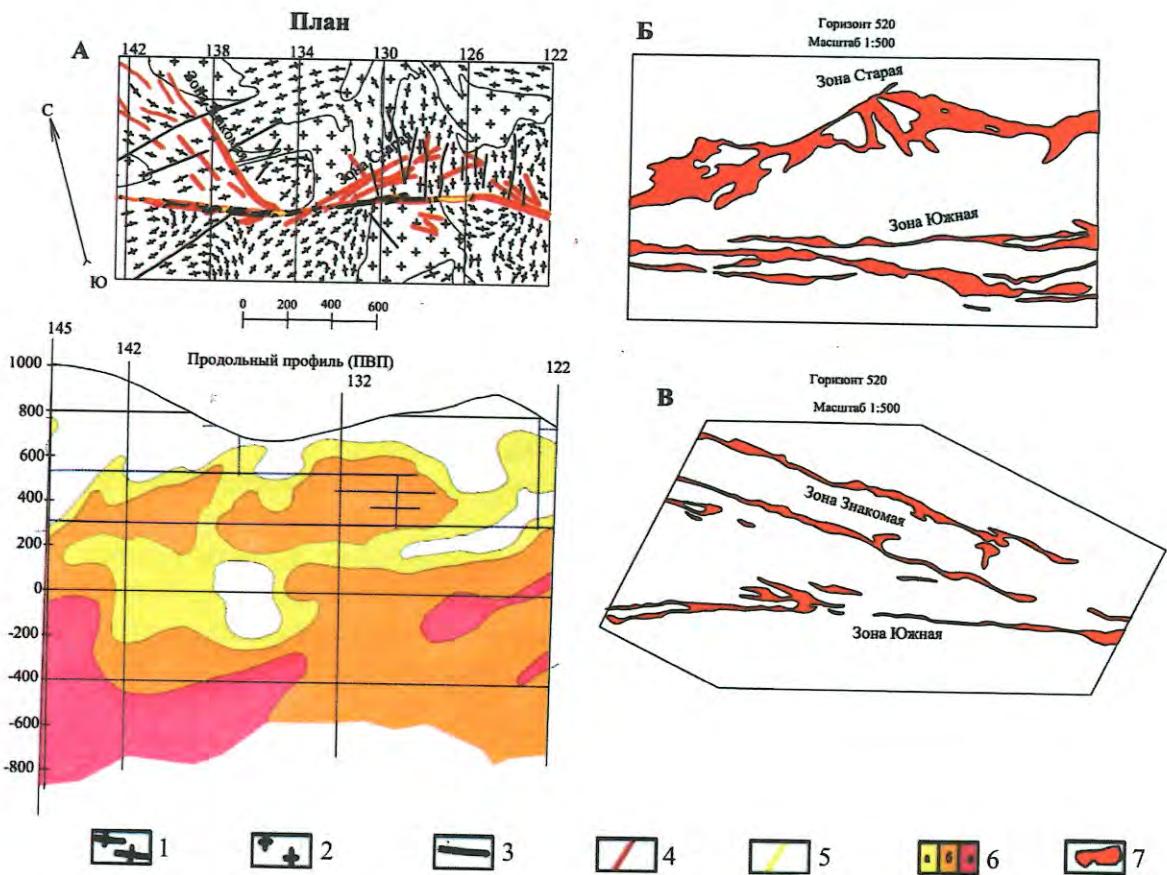


Рис. 2.38. Месторождение Эльконское плато.

А – приуроченность ОБР к главному флексурному изгибу зоны Южной при пересечении купольной структуры, Б – сложное по форме рудное тело, контролируемое трещинами отрыва (зона Старая). В – прямолинейные жилообразные тела зоны, контролируемые трещинами скола (зона Знакомая).

1 – гранито-гнейсы; 2 – граниты; 3 – разломы; 4 – ураноносные зоны; 5 – метасоматиты; 6 – продуктивность оруденения (Σmc): а – 0,05-0,30, б – 0,30-1,00, в – >1,00; 7 – рудные тела

Столбы ОБР контролируются изгибами зоны Южной, которые образуются при пересечении основным разломом сложных складчатых сооружений, сложенных докембрийскими метаморфическими породами или массивами древних и мезозойских магматических пород. На всех пяти участках зоны Южной имеются интервалы, обогащенные ураном (продуктивность более 0,1 м%). Они контролируются усложнениями в изгибах основного разлома.

Тектоно-метасоматическая зона Южная сохраняет прямолинейность, когда прослеживается вдоль или поперек простирания вмещающих пород. При кососекущем положении к простиранию пород зона меняет свое направление, образуя плавный флексурный изгиб. При этом отмечается расщепление и ветвление основного разлома.

Усложненные интервалы разлома, фиксируемые на поверхности, контролируют столбы ОБР на глубине. Изгибы разлома плавные, размах крыльев изгиба 2-4 км, поэтому на глубоких горизонтах только по скважинам установить его весьма затруднительно. Однако на всех пяти участках зоны Южной усложненным интервалам разлома, являющимися своеобразными структурными ловушками, соответствуют участки высокой продуктивности.

Флексурообразные изгибы основного разлома образовались при его заложении в протерозое. Направления напряжений и подвижек при мезозойской активизации сохранились, и новые тектонические нарушения формировались как внутри древнего разлома, так и вдоль оперяющих разломов II порядка. На осложненных участках

происходит не только обновление древних разломов, но и формирование новых мезозойских параллельных и секущих нарушений.

Например, на участке Эльконское плато (см. рис. 2.38) основной разлом пересекает купольную структуру, в центре которой расположен массив докембрийских гранитов, облекаемый мигматитами и гранито-гнейсами. Простирание разлома меняется с северо-западного на близширотное и затем вновь на северо-западное. На изгибе образуются системы северо-восточных и северо-западных оперяющих нарушений в лежачем боку разлома. Северо-западные нарушения относятся к сколовым, а северо-восточные – к трещинам отрыва, что объясняется левосторонним сдвигом лежачего бока относительно висячего.

К этим оперяющим тектоническим нарушениям приурочены тела с ОБР. В зоне Старой преобладают трещины отрыва и рудные тела имеют сложную форму с окнами пустых пород (см. рис. 2.38Б). В зоне Знакомой рудные тела контролируются прямолинейными трещинами скола (см. рис. 2.38В).

В основном разломе отмечается несколько параллельных швов, к которым приурочены жилообразные тела урановых руд.

На разных участках зоны Южной установлено от двух до пяти рудных залежей, которые, кулисообразно сменяя друг друга, прослеживаются на всем 20-километровом протяжении зоны. Длина залежей по простирианию от сотни метров до нескольких километров. Промышленное оруденение начинается со 100-300 м от поверхности и прослеживается на всю изученную глубину (1500-1800 м).

Мощность залежей от нескольких до первых десятков метров. Коэффициент рудоносности от 0,2 до 1.

Мощность рудных тел, выделенных в пределах залежей, 1-3 м. В отдельных случаях до – 5-7 м.

По статистике рудных тел мощностью менее 1 м – около 1%, 1-2 м – 42%, 2-3 м – 39%, 3-5 м – 13% и более 5 м – около 5%.

Уран на месторождении распространен неравномерно. Наиболее высокие средние содержания приходятся на участки Элькон, Эльконское плато, Курунг (0,162%). Средние содержания урана в 79 подсчетных блоках на этих участках распределены по логнормальному закону.

В блоках с содержаниями ниже среднего сосредоточено 18% запасов урана, а в блоках с содержаниями выше среднего – 88% запасов. В 18 блоках с относительно богатыми рудами (более 0,19%) содержится 42% запасов урана.

Урановая минерализация неравномерно связана с предрудными метасоматитами, образующими плитообразные тела в зоне разлома. А.К. Мигута [20] выделяет 10 стадий минералообразования. Главной и самой распространенной является пирит-карбонат-калишпатовая ассоциация, в которую входят пирит, марказит, кальцит, доломит, анкерит, бурый калиевый полевой шпат, адуляр, серицит, сфен, апатит, флюорит.

Пирит этой ассоциации содержит тонкодисперсное золото. Метасоматиты имеют зональное строение, внешняя зона состоит из карбонатов, пирита и серицита, а внутренняя сложена, кроме того, калишпатом и адуляром. Образованию урановых руд предшествует дробление и катаклизм метасоматитов, образование брекчий, в которых обломки цементируются урановой минерализацией, главным образом браннеритом. Подчиненную роль играют коффинит, уринит. Вторичные минералы урана представлены урановыми слюдками, гидроокислами и ванадатами урана.

В восточной части месторождения на участке Дружный на ураноносные метасоматиты накладывается брукит-молибденитовая ассоциация. Постоянный спутник урана – золото. Содержание его в руде колеблется от 0,8 до 1,5 г/т, а в монофракциях пирита достигает 80 г/т.

Браннерит развивается в виде цемента микробрекчий и мелких коротких прожилков. По составу он резко отличается от браннерита из альбититов Украины и браннерита пегматитов и конгломератов Витватерсранда. Он почти не содержит тория

(менее 0,03%) и постоянно содержит примеси Nb_2O_5 (до 1,4%), WO_3 (до 2%), V_2O_5 (до 1,6%), иногда РЗЭ (до 0,4%).

По химическому составу золотоурановая руда относится к алюмосиликатному типу с повышенным содержанием карбонатов. Запасы учтены по U, Au, Ag и Mo.

При автоклавном выщелачивании урана в раствор переходят ванадий (200 мг/л) и редкоземельные элементы иттриевой группы (50 мг/л).

Гидротермальные растворы привносили калий, углекислоту, серу и уран, при образовании ураноносных метасоматитов выносились кремнезем, натрий и глинозем.

Результаты термобарометрических исследований, обобщенные А.К. Мигутой [20], показывают, что процесс рудообразования проходил в интервале температур 250-300°C. Температура минералообразования была максимальной в начале каждой стадии (до 300°C) и падала к концу стадий до 140-160°C.

Изохронный U-Pb возраст браннерита, полученный многими лабораториями, составляет 130-140 млн. лет.

Месторождение Северное

Зона Северная проходит субпараллельно зоне Южная в 5 км севернее. По строению зоны разломов, типу метасоматоза, рудоконтроля, морфологии рудных залежей, минеральному составу руд эти рудные зоны и месторождения аналогичны. Северная зона в три раза короче, имеет значительно меньше структурных ловушек и в четыре раза меньше по запасам урана.

Открыто в 1961 г., разведано в 1979-1983 гг. Запасы урана утверждены Межведомственным совещанием в 1986 г. по категории C₂ в количестве 58,6 тыс. т урана со средним содержанием 0,149% и 29 т золота (0,7 г/т).

В 2007-2008 гг. Алданский филиал «Якутгеология» в приповерхностной части месторождения канавами и неглубокими буровыми скважинами выявил месторождение золота, ресурсы которого оценены в 9 т. В 2010-2011 гг. ЗАО «Русбурмаш» продолжил предварительную разведку золотого оруденения и детальную разведку урановых руд на центральном участке.

Протяженность Северной зоны более 10 км, урановая минерализация установлена на 8-километровом интервале.

Вмещающими породами служат биотит-амфиболовые и амфибол-диопсидовые сланцы и гнейсы, мигматиты и лейкократовые граниты. Встречены одиночные дайки, принадлежащие комплексу мезозойских интрузий. Зона представлена мощной древней зоной бластокатаклаза, по которой в мезозое развились зоны катаклаза и брекчирования, замещенные ураноносными пирит-карбонат-калишпатовыми метасоматитами [19]. Общая мощность древней зоны 5-10 м, в раздувах – до 70 м.

Ураноносные катаклазиты и мелкообломочные брекчии слагают несколько сближенных швов мощностью от 1,5 до 3 м в пределах полосы шириной 10-20 м. Рудоносная зона в целом образует дугу, выгнутую к юго-западу и сопровождающую полосой параллельных оперяющих трещин.

В пределах месторождения выделяется пять рудных залежей, образованных системой сближенных и параллельных рудных тел, контролируемых тектоническими швами. Протяженность залежей от 1,6 до 3,6 км, мощность от первых до 20 м.

К осложненным участкам зоны (изгибы по простиранию и падению, разветвления швов) приурочены рудные столбы с повышенной продуктивностью. По вертикали оруденение прослежено более чем на 1500 м. С глубиной качество руд улучшается, более богатые руды приурочены к крутым интервалам зоны.

Внутри залежей в каждом сечении располагается от 1 до 4 рудных тел мощностью от десятков сантиметров до 5-7 м, разделенных прослоями слабо оруденелых пород.

Золотоурановые руды по химическому и минеральному составу аналогичны рудам Южного месторождения. Браннерит развивается в зонах брекчирования в виде прожилков

мощностью от 0,1 до 1,2 см и в цементе обволакивает обломки метасоматитов. Содержание золота в контуре ураноносных метасоматитов колеблется от 0,4 до 3,5 г/т. На юго-восточном фланге выявлены небольшие участки с высоким содержанием молибдена (0,08-0,184%).

На Северном месторождении выше контура промышленных урановых руд пробурено значительное количество скважин и пройдена штольня на глубине примерно 100 м от поверхности. В результате изучения этого месторождения при минералого-технологическом картировании выяснилось, что зона окисления распространена до 500 м от поверхности. На глубине до 200 м золотоурановые руды полностью окислены, браннерит в них отмечается в редких реликтах, распространены вторичные минералы урана (отенит, торбернит, ураноцирцит), большая часть урана вынесена, и содержание его в рудах находится на уровне 0,01-0,03%. Содержание золота, напротив, увеличивается до 3-5 г/т, а в отдельном случае – до 17 г/т. Золото высвобождается при окислении пирита и находится в свободном дисперсном состоянии, вследствие чего легко цианируется. Извлечение золота из руд в режиме кучного выщелачивания достигает 90%.

На глубинах 200-500 м от поверхности распространены полуокисленные золотоурановые руды с пониженным содержанием урана и повышенным содержанием свободного золота (извлечение золота из этих руд в режиме КВ 70-80%).

Глубже 500 м распространены неокисленные первичные золотоурановые руды с сульфидным нецианируемым золотом и более высоким содержанием урана.

Приведенные данные, а также изучение приповерхностных частей участков Элькон и Непроходимый в процессе их доразведки дают возможность предположить, что золотоурановые руды изначально были распространены значительно выше современной поверхности, а позже они были частично эродированы и частично окислены, значительная часть урана была вынесена, и верхняя граница промышленных руд опущена на 100-300 м ниже поверхности. При такой концепции верхушки всех тектономагматических ураноносных зон Эльконского района перспективны на выявление золотого оруденения, которое может отрабатываться способом кучного выщелачивания.

2.6.3. Провинция Восточно-Бразильского щита

Бразильский щит подразделяется на две части – Центрально-Бразильскую на западе и Восточно-Бразильскую на Атлантическом побережье [16]. Восточная часть щита сложена архейскими и протерозойскими комплексами, породы смяты в кругие складки и интенсивно гранитизированы в конце архея и раннего протерозоя. Архейские жесткие блоки (кратоны) разделяются раннепротерозойскими мобильными поясами. Самый крупный из кратонов Сан-Франсиско, занимающий южную и центральную части щита, отделен прогибом от северного блока Сан-Луис. Прогиб сложен раннепротерозойскими и рифейскими комплексами пород – мелкозернистых гнейсов с горизонтами доломитов и мраморизованных известняков. В обоих докембрийских блоках в нижнем палеозое (520-450 млн. лет) проявилась тектономагматическая активизация, синхронная панафриканской эпохе омоложения (дамарские граниты), в результате которой докембрийские магматические породы были прорваны щелочными гранитами. Пространственно и генетически с этими гранитами связаны метасоматические месторождения, сформированные гидротермальными натриево-карбонатными растворами. Как и в Центрально-Украинской провинции, при взаимодействии таких растворов с алюмосиликатными породами образуются ураноносные альбититы, а с карбонатными породами – уран-фосфорные руды. В Восточно-Бразильской провинции выявлено три метасоматических месторождения. Одно – в блоке Сан-Франсиско (Лагоа Реал) и два – в блоке Сан-Луис (Итатая и Эспиньярос).

Месторождение Лагоа Реал локализовано в альбититах, слагающих протяженные тела в гранитах. Запасы и ресурсы месторождения – около 100 тыс. т. Площадь рудного поля 80 км². Площадная продуктивность урана 1250 т/км². Месторождение отрабатывается способом КВ. Для добычи открытым способом выбраны наиболее богатые

участки альбититов с содержанием урана 0,2-0,3%. В год производится 300-400 т урана. Запасы богатых руд 20 тыс. т урана.

Месторождение Эспиньярос также локализовано в альбититах. Вмещающими породами являются биотитовые гнейсы, прорванные дайками щелочных гранитов с возрастом 520-450 млн. лет. Ураноносные альбититы слагают линзовидные тела мощностью до 100 м. Месторождение не доразведано.

Месторождение Итатая

Вмещающие породы (гнейсы и мрамора) смяты в крутые складки и разбиты меридиональными надвигами и более поздними сбросо-сдвигами северо-западного и северо-восточного простирания. По гнейсам образуются многочисленные жилообразные тела, сложенные альбитом с небольшим количеством хлорита и апатита.

В мраморах альбитизация проявлена в прослоях, обогащенных графитом, флогопитом, диопсидом, амфиболом и силлиманитом.

Рудные тела локализованы в основном в альбитизированных мраморах. Они имеют круглое и наклонное падение, прослеженное до глубины 100 м. Руды сложены массивным коллофаном (аморфная разновидность апатита) и обычным апатитом. Коллофан заполняет трещины и пустоты в мраморах и образует вкрапленность в альбититах. Руды в основном (до 80%) сложены коллофаном, альбитом, микроклином, хлоритом, анкеритом. Содержание урана в рудах 0,03-0,2%, P_2O_5 – 37%.

Месторождение выявлено в 1975 г. и до сих пор не разрабатывается. Запасы оценены в 76 тыс. т при среднем содержании урана 0,1%. Руды в качестве попутного компонента содержат редкоземельные элементы иттриевой группы.

2.7. Ураноносные органогенные фосфориты

2.7.1. Прикаспийская провинция. Карагинский рудный район

Органогенно-фосфатные ураново-редкоземельные месторождения, связанные с залежами костного детрита рыб в третичных отложениях, известны только в одном регионе мира – Прикаспийском, охватывающем Восточное Предкавказье и п-ов Манышлак, хотя скопления рыбных костей в морских отложениях разного возраста имеются и в других регионах (США – штат Южная Каролина, Марокко, Сирия, Иордания и др.) [32,40].

Все ураново-редкоземельные месторождения приурочены к майкопским глинистым отложениям (олигоцен-нижний миоцен), сформированным на территории Восточного Паратетиса, объединявшего в третичное время современные Черное и Каспийское моря. Выделяются два крупных урановорудных района: Ергенинский в Предкавказье и Карагинский на п-ве Манышлак.

В пределах Ергенинского района выявлено 15 месторождений, 37 рудопроявлений и более 30 точек минерализации [39]. Все они представлены различными по размеру залежами костного детрита. Руды сложены глинистыми минералами (30-60%), пиритом (15-30%), костным детритом (20-50%).

Содержание урана в руде колеблется от 0,03 до 0,16%, среднее содержание 0,05%.

Сумма РЗЭ меняется от 0,15 до 0,57%, составляя в среднем 0,23%. Выделяются два типа руд – сульфидный и фосфорный. Часто встречается смешанный сульфидно-фосфорный тип. Содержание урана и РЗЭ имеют положительную корреляционную связь с фосфором. В чистом детрите, содержащем 33,8% P_2O_5 , содержание РЗЭ 0,5% (0,05-2,0%), урана – 0,06% (0,01-0,19%).

В целом руды всех месторождений мало отличаются по содержанию полезных компонентов.

В железистых рудах содержание (%): Fe – 27, P_2O_5 – 6,3, U – 0,01, РЗЭ – 0,106.

В фосфорных рудах содержание (%): Fe – 10, P_2O_5 – 19,8, U – 0,07, РЗЭ – 0,28. В смешанных рудах содержание (%): Fe – 16, P_2O_5 – 13,7, U – 0,04, РЗЭ – 0,21.

Суммарные ресурсы редкоземельных элементов оценены в 100 тыс. т. Самое крупное по урану месторождение Степное имеет утвержденные ГКЗ запасы урана 15500 т при среднем содержании 0,05%. Ресурсы урана Ергининского района составляют порядка 30 тыс. т.

Суммарные ресурсы урана Прикаспийской провинции можно оценить в 130-150 тыс. т.

Карагинский рудный район (рис. 2.39) расположен в степной части Мангышлака, в пределах впадины Карагие, образованной в ядре Карагинского сводового поднятия [32-40]. Ураново-редкоземельные месторождения были выявлены в начале 50-х гг. Ферганской экспедицией ВИМСа.

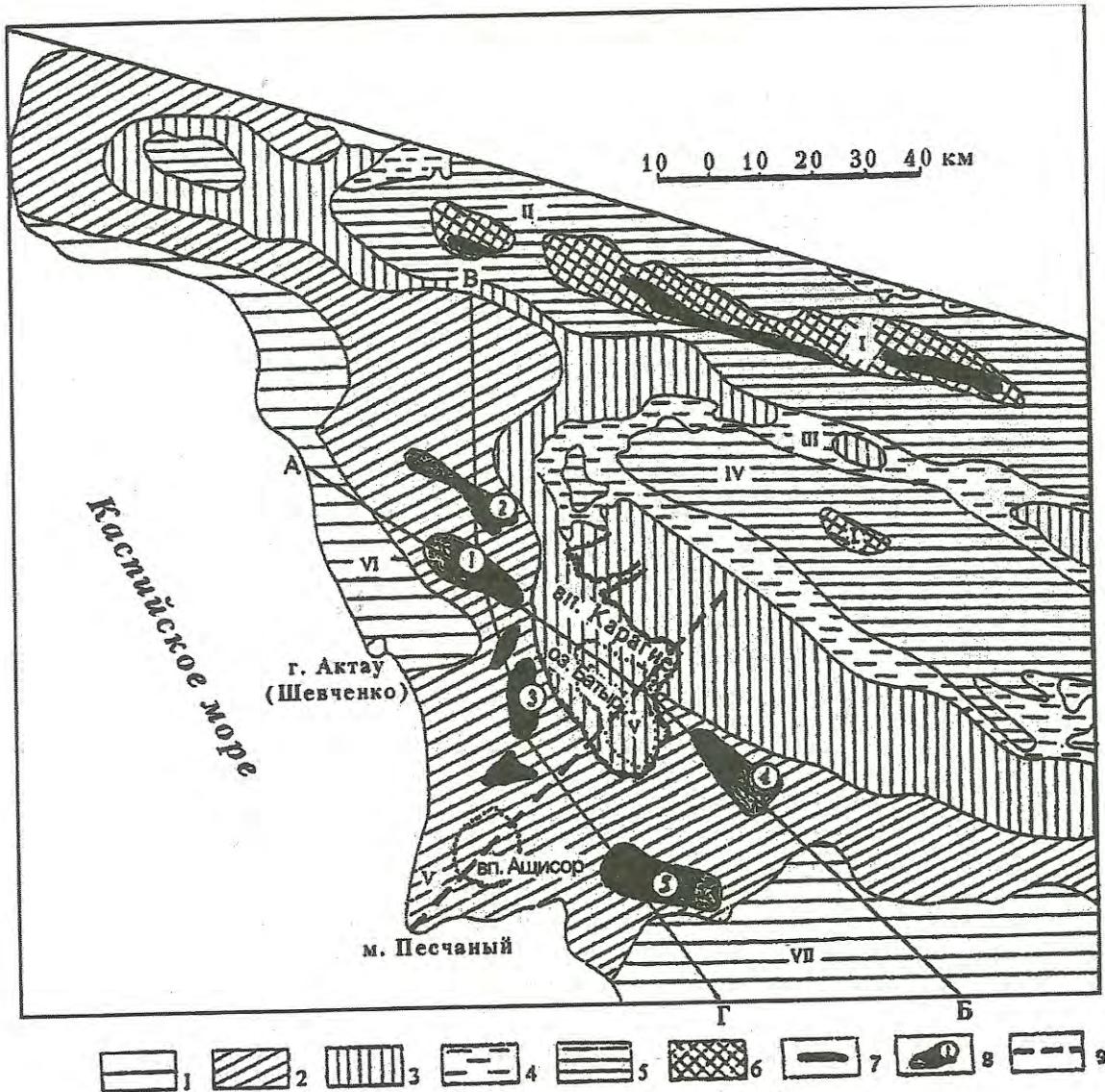


Рис. 2.39. Схематическая геологическая карта полуострова Мангышлак (со снятым неоген-четвертичным чехлом) [39].

1-3 – майкопская серия: 1 – нижний миоцен, 2 – верхний олигоцен, 3 – нижний олигоцен; 4 – палеоцен и эоцен; 5 – мел; 6 – юра; 7 – пермо-триас; 8 – органогенно-фосфатные месторождения урана и редких земель: 1 – Меловое, 2 – Томак, 3 – Тасмурун, 4 – Тайбагар, 5 – Садырнын; 9 – зона разлома. А-Б и В-Г – линии геологических разрезов.

Основные тектонические элементы: I-IV – Центрально-Мангышлакская система дислокаций: I – Карагинская мегаантеклиналь, II – Тюб-Караганская антиклинальная зона, III – Чакырганская антиклинальная зона, IV – Беке-Башкудукская антиклинальная зона; V-VII – Южно-Мангышлакский прогиб: V – Карагинское сводовое поднятие, VI – Сегендыкская синклиналь, VII – Жазгурулинская синклиналь

Район занимает площадь 4800 км². Рудовмещающая карагинская свита мощностью до 400 м сложена зеленовато-серыми глинами с костными остатками рыб. Средняя подсвита карагинской свиты отличается темным цветом глин, присутствием округлых скоплений пирит-мельниковита и органического вещества, повсеместным присутствием костных остатков и чешуи рыб, из-за чего получила наименование «рыбной». С ней связаны все органогенно-фосфорные урановые месторождения.

Карагинское сводовое поднятие осложнено рядом мелких пликативных структур. Впадина Каагие разделяет его на Сегендыкскую и Жазгурлинскую синклинали. На склонах поднятия фиксируется ряд мульдообразных впадин и промоин, в которых размещены все месторождения урана и редких земель. Протяженность таких впадин 15-20 км при ширине до 2 км и на отдельных участках – до 6-7 км.

Разведано пять месторождений. На северном склоне свода – Меловое, Томак, Тасмурун-Ацисай, на Южном – Тайбагар и Садырнын. Каждое из них представлено несколькими (до четырех) пластовыми залежами, обогащенными костным детритом и пиритом. Общие ресурсы района оцениваются в 100 тыс. т редкоземельных элементов. Площадь Карагинского рудного поля, объединяющего пять месторождений, 90 км². Площадная продуктивность урана – максимальная для экзогенных месторождений – 1100 т/км².

Для всех месторождений характерна однородность состава полезных компонентов (%): P₂O₅ – 5-7, U – 0,04-0,05, РЗЭ – 0,17-0,20. Самым крупным является месторождение Меловое.

Месторождение Меловое

Выявлено месторождение в 1953 г. Запасы урана 65 тыс. т при среднем содержании в руде 0,05%, запасы суммы РЗЭ – около 260 тыс. т. Месторождение отрабатывалось открытым способом до 1993 г.

Промышленная залежь приурочена к линейной впадине на северном склоне Карагинского свода (рис. 2.40). Залежь состоит из четырех пластов, различающихся между собой строением, составом и содержанием полезных компонентов. В юго-восточной части месторождения залежь компактная. Ее мощность 0,4-0,6 м. К западу и северу она расслаивается безрудными глинами, и мощность возрастает до 8-10 м. Общая протяженность залежи 16-18 км при ширине 1-1,5 км на юго-востоке и до 5-6 км – на северо-западе. Мощность отдельных рудных пластов 0,4-2,5 м [40]. Содержание урана 0,03-0,07% (среднее 0,05%), сумма редкоземельных элементов 0,2% (иттрий составляет 18-22% от суммы). В костном детрите при содержании P₂O₅ 25%, U 0,2%, сумма РЗЭ 0,6-1%. Основная масса урана связана с фосфатом кальция (франколитом) в костном детрите и представлена тонкодисперсными оксидами (60%), уранил-фосфатно-кальциевыми комплексами. Постоянно отмечается повышенное содержание Ni (0,1%), Co (0,02%), Mo (0,04%), связанное с сульфидами железа.

Рудная залежь залегает на размытой поверхности подстилающих глин. Четко фиксируются многократные перемывы костного детрита и его дезинтеграция. Максимальные концентрации урана установлены в мелких фракциях рыбных костей и чешуе.

Сравнительный анализ разномасштабных месторождений Прикаспийской провинции показывает, что при удивительно почти одинаковом содержании полезных компонентов в костном детрите размеры месторождений и содержание урана однозначно определяются количеством и концентрацией детрита в рудных залежах. Крупные скопления детрита формируются на приподнятых склонах рудовмещающих впадин, доступных для воздействия на глинистые отложения волн и приливно-отливных течений, способствующих концентрации фосфатного вещества и связанных с ним урана и редкоземельных элементов.

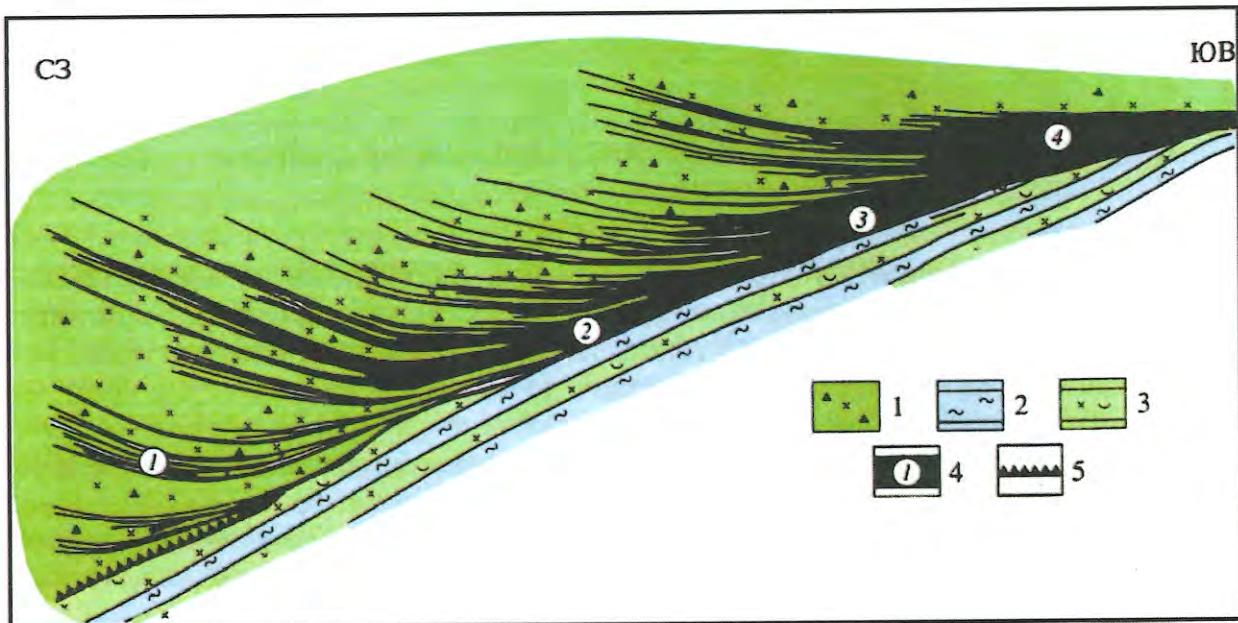


Рис. 2.40. Продольный разрез рудной залежи месторождения Меловое [39].

1 – глины темно-бурые, обогащенные остатками рыб и тонкодисперсным пиритом; 2 – глины светло-серые (белесые) с ходами илоедов; 3 – глины темно-серые с редкими остатками рыб и пятнообразными выделениями тонкодисперсного пирита; 4 – рудные пласты и их номера; 5 – сульфидный прослой

Возможность обнаружения крупных месторождений урана типа Мелового, по нашему мнению, маловероятна. Прикаспийская провинция с огромными скоплениями ураноносной ихтиофауны сама по себе уникальна и в достаточной степени изучена, что исключает пропуск очень крупных приповерхностных залежей. Однако выявление в пределах провинции средних и мелких и доразведка известных месторождений может в совокупности способствовать значительному расширению минерально-сырьевой базы урана и редкоземельных элементов.

2.8. Факторы, определяющие размеры месторождений и качество руд

Крупные урановые месторождения расположены в пределах 15 провинций, и ни в одной из них они не встречаются поодиночке, а сопровождаются множеством средних и мелких месторождений такого же типа. В 13 из 15 провинциях установлены разнотипные и разномасштабные урановые и другие рудные месторождения. Только в Притяньшаньской и Мали-Нигерийской провинциях непосредственно в пределах осадочных бассейнов известны только пластово-инфилтратационные месторождения, но в горных обрамлениях этих провинций имеются мелкие месторождения, рудопроявления урана и обогащенные ураном магматические и вулканические породы.

Поэтому универсальным методом поисков до сих пор остается аэрогаммаспектрометрическая съемка, сопровождаемая в некоторых странах геохимической съемкой разного масштаба (Австралия, Канада). Выявленные радиоактивные аномалии заверяются авто- и пешеходными радиометрическими съемками, поверхностными горными выработками и бурением. Только в крупных осадочных бассейнах, где урановое оруденение локализовано на больших глубинах и не выходит на поверхность, урановые месторождения были выявлены непосредственно глубокими скважинами попутно при бурении на нефть и газ.

Само существование локальных урановорудных провинций, занимающих незначительные площади в пределах континентов, наводит на мысль об изначальных неоднородностях в распределении радиоактивных элементов в мантии и земной коре. Их

аномально высокое содержание на разных глубинных уровнях служили источником энергии для интенсификации геологических процессов и источником урана при формировании разнотипных месторождений. Аналогичные по геологическому строению и истории развития геотектонические элементы земной коры, распространенные за пределами этих изначальных аномалий, оказываются безрудными.

Все 15 урановорудных провинций выявлены более 35 лет тому назад. В пределах известных провинций последние крупные урановые месторождения установлены в 80-х гг. в провинции Атабаска (Игл Поинт – 1980 г., МакАртур – 1988 г., Сигар-Лейк – 1981 г.).

Из сказанного следует, что найти крупное урановое месторождение на «пустой» малоизученной территории маловероятно, но перспективы известных провинций далеко не исчерпаны. Особенno это касается провинций, где урановые месторождения расположены на больших глубинах или под чехлом молодых рыхлых отложений. К ним относятся Монголо-Забайкальская, Северо-Казахстанская, Восточно-Бразильская, Южно-Австралийская, Мали-Нигерийская провинции и Атабаска и Пайн Крик.

Кроме того, в мире известны множество потенциально рудоносных провинций и районов, где геологоразведочные работы проведены на недостаточном уровне для их окончательной оценки, и где работы продолжаются до настоящего времени.

Хорошие результаты получены по Западно-Австралийской провинции, в которой в ближайшее время будет закончена разведка нескольких месторождений поверхностного типа и типа «несогласия». Общие запасы их превысят 100 тыс. т. Планируется строительство нового крупного урановорудного центра (УПЦ).

В России известно несколько потенциально рудоносных провинций и районов, в которых масштабы проведенных исследований не сопоставимы ни по объему, ни по качеству с работами на Стрельцовской ВТС, и тем более – в провинции Атабаска. Это районы Монголо-Забайкальской провинции, Северо-Байкальская, Северо-Енисейская, Учуро-Майская, Чукотская, Карельская и другие потенциально рудоносные провинции.

Таким образом, *первый* и один из основных факторов формирования крупных месторождений урана – наличие изначального обогащения радиоактивными элементами крупных участков мантии и земной коры.

Вторым фактором, тесно связанным с первым, являются размеры и мощности источников растворов и урана, которые возникают в магматических очагах, расположенных в пределах обогащенных ураном участков мантии.

Содержание урана в растворах, а в конечном результате и в рудах, зависит, по-видимому, от степени изначальной обогащенности этим металлом мантии и характера его распределения. В некоторых провинциях обогащенные участки и ураногенерирующие очаги занимают большие площади, и почти каждый достигающий их разлом оказывается рудоподводящим. Примером таких провинций служат Атабаска, Центрально-Украинская и Алдан-Тимптонская. При этом в провинции Атабаска изначальная обогащенность участка мантии была чрезвычайной, что наряду с другими факторами определило уникальное богатство руд и широкую распространенность месторождений урана.

В других провинциях ураногенерирующие очаги были более локальными, соответствующими концепции «горячих точек». Для таких провинций характерно наличие нескольких разобщенных рудных полей или районов (Кокчетавский и Чешский срединные массивы и их обрамления, Монголо-Забайкальская провинция).

Для экзогенных месторождений первичный источник имел опосредованное значение, определяя повышенное содержание урана в магматических породах областей питания и в осадочных и вулканических породах рудовмещающих бассейнов.

О мощностях источников, т.е. их дебитах и содержаниях урана в растворах можно судить по результатам их деятельности, выраженных в коэффициентах площадной продуктивности урана (см. табл. 1.4) и других сопутствующих компонентов. По значениям этих коэффициентов диагностируется генетический тип месторождений. В рудных поясах с пластово-инфилтратационными месторождениями продуктивность ниже

1000 т/км², причем максимальная в тех районах, где не исключается дополнительный привнос урана гидротермальными растворами (Стражский блок и Учкудукское рудные поля). В рудных полях или поясах с гидротермальными месторождениями продуктивностью выше 2000 т/км² максимальные значения определены в Эльконском и Кировоградском районах с метасоматическими месторождениями (Рудный пояс Южное+Северное – 6 875 т/км², Новоконстантиновское рудное поле – 4 250 т/км²).

Третий универсальный фактор формирования крупных месторождений – длительность процесса рудообразования. В большинстве случаев длительность процесса можно определить только косвенно, так как точность изотопных методов для этого недостаточна. Но в отдельных месторождениях процесс рудоотложения и переотложения протекал в течение сотен миллионов лет, что подтверждается изотопным возрастом урановых минералов. На богатейших месторождениях урана провинции Атабаска установлено по меньшей мере три эпохи отложения и переотложения урановых руд: 1300, 1000 и 300-400 млн. лет.

К косвенным факторам относятся: многостадийность минералообразования, резкое неоднократное изменение состава растворов, заметное различие в возрастахrudовмещающих пород и урановой минерализации, возрастное взаимоотношение между дайками магматических пород и оруденением. Можно утверждать, что процесс рудообразования на всех крупных месторождениях был длительным и протекал в течение не менее нескольких или даже десятков миллионов лет со ступенчатым нарастанием концентраций урана в рудах.

Опыт поисково-оценочных работ в разных странах показывает, что простые по составу одностадийные проявления урана при детальном изучении оказываются непромышленными. В гранитах, вулканитах, железистых кварцитах и других породах часто встречаются привлекающие внимание прожилки настурана мощностью до нескольких сантиметров, которые не сопровождаются значительными околоврудными изменениями. Детальная разведка участков с такими прожилками ни в одном случае не дала положительных результатов.

Другие факторы, определяющие размеры месторождений и качество руд, специфичны для разных генетических типов месторождений.

Для *пластово-инфилтратационных месторождений* главное значение имеют размеры осадочных бассейнов, артезианских на момент рудообразования, и мощности водоносныхrudовмещающих горизонтов. Крупнейшие месторождения (Инкай, Буденновское, Харасан, Амброзия-Лейк, Арлит и др.) локализованы в крупных синеклизах, в нескольких водоносных горизонтах общей мощностью более 100 м, разделенных водоупорами. При отсутствии явного источника урана в областях питания и невысоких содержаниях вrudовмещающих горизонтах проницаемых пород главное значение приобретает дальность пробега ЗПО, т.е. расстояние от гидрологического массива до восстановительного барьера. При соблюдении всех трех условий формируются очень крупные месторождения, с запасами более 100 тыс. т, но с бедными рудами (0,1% урана и менее). В менее обширных бассейнах грабен-синклиналях при прочих равных условиях образуются месторождения со значительно меньшими запасами.

Наличие богатых источников урана и контрастность окислительно-восстановительного барьера – важнейшие факторы, определяющие размеры пластово-инфилтратационных месторождений и качество руд. Источниками урана в областях питания могут быть месторождения и рудопроявления урана, а также обогащенные ураном вулканические и магматические породы. В процессе осадконакопления в дельтах рек, лагунах и прибрежных районах, богатых растительностью, происходит сингенетическое накопление урана. При захоронении и диагенезе таких осадков образуются породы с повышенным восстановительным потенциалом и высоким содержанием урана, что способствует эффективности действия ЗПО. Увеличивается содержание урана в кислородных водах и интенсивность отложения на контрастном

окислительно-восстановительном барьере. Контрастность барьера может еще более усиливаться под воздействием восстановительного эпигенеза, при котором не исключен дополнительный привнос урана. При одновременном проявлении всех перечисленных факторов формируются крупные месторождения с богатыми рудами (Арлит, Акаута, Амбrozия-Лейк, Гам, Учкудук).

Известно, что пластово-инфилтратионные месторождения образуются только в определенных климатических условиях, но здесь не будем на этом останавливаться, так как климат в равной степени влияет на формирование и крупных, и мелких месторождений.

Необходимые условия, кроме общих вышеперечисленных, для формирования крупных *полигенных месторождений с богатыми рудами*:

- наличие мощных рудоподводящих каналов,
- большие объемы рудовмещающих структур,
- высокая контрастность структурно-геохимических барьеров.

При воздействии гидротермальных железо-магнезиальных растворов на раздробленные породы фундамента внутри «сквозных» зон разломов, достигающих мощности во многие десятки метров, и на базальные горизонты перекрывающих песчаников выносятся основные породообразующие элементы (кремнезем, карбонат и натрий), что приводит к обрушению кровли и формированию крупных разуплотненных полостей, охватывающих зоны разломов в фундаменте и песчаниках, куда и устремляются ураноносные растворы. Массовое отложение урановых минералов происходит при резком падении давления и смещении горячих гидротермальных растворов с высоко минерализованными поверхностными водами. Наиболее благоприятные условия для формирования крупных хорошо проницаемых полостей и соответственно крупных месторождений реализуются в участках пересечения «сквозными» зонами разломов поверхности структурно-стратиграфического несогласия – непосредственно ниже этой поверхности (МакАртур) или выше (Сигар-Лейк).

Подобные условия могут проявляться не только в рифейских прогибах, но и в депрессионных структурах других возрастов, что расширяет возможности выявления новых крупных месторождений типа «несогласия».

Факторы, способствующие формированию крупных месторождений другого полигенного типа – *комплекса гематитовых брекчий* – те же самые, но рудоподводящие каналы – в этом случае гораздо крупнее, выполняющие их брекчии в момент проявления рудной стадии значительно плотнее, поэтому заполнены поверхностными водами только вблизи поверхности. Содержание урана в гидротермальных растворах низкое, в них преобладают железо и медь.

В результате образуются очень крупные железо-медные месторождения, в которых уран и золото являются попутными компонентами (Олимпик Дэм). Месторождения этого типа – трудные объекты для выявления, так как они перекрыты мощным платформенным чехлом. Можно отметить, что к их поискам в других странах, кроме Австралии, еще не приступали.

Основной фактор, определяющий формирование *крупных гидротермальных месторождений* (кроме мощных источников растворов урана и длительности процесса рудообразования), – наличие объемной дренажной системы, состоящей из рудоподводящих и рудовмещающих тектонических нарушений.

Крупные гидротермальные метасоматические месторождения локализованы в пределах зон глубинных разломов. Крупные полости с оптимальной проницаемостью, выполненные объемными катаклизитами, брекчиями, рассланцованными и трещиноватыми породами, образуются в узлах пересечения и сопряжения отдельных разломов на участках изгибов основной зоны и при пересечении разломами складчатых сооружений.

Классические жильные крупные месторождения слагаются сотнями разноориентированных жил различной мощности, среди которых обязательно присутствует несколько «стержневых» жил, обладающих значительной долей запасов урана. Условия для образования пульсационно приоткрывающихся разрывных трещин создаются в кровле крупных гранитоидных массивов, «сжимающихся» при остывании.

Крупные штокверковые месторождения пространственно и генетически связаны с магматическими очагами, генерирующими интрузии, вулканические породы и ураноносные гидротермальные растворы. Они локализованы в сложных по геологическому строению рудных полях и контролируются системой тектонических нарушений разной направленности и ориентировки. Подвижки по этим нарушениям создают множество структурных «ловушек» разной формы и размеров, соединенных между собой и с рудоподводящем разломом оперяющими нарушениями. Напорные растворы с трудом просачиваются по этим нарушениям и попадают в структурные ловушки, сложенные разуплотненными раздробленными брекчированными породами, и в результате резкого падения давления и потери углекислоты происходит отложение урановых и сопутствующих минералов. Для образования крупного месторождения общий объем «ловушек» и их количество должны быть достаточными для обеспечения больших запасов урана.

Для *крупных позднемагматических месторождений* очевидна, более чем для месторождений других типов, локализация ураноносных гранитных массивов в пределах провинций, мантия в которых изначально была обогащена ураном. За пределами таких провинций известно большое количество подобных массивов, не несущих повышенных концентраций урана. Другим обязательным условием является сохранность от эрозии апикальных частей массивов, где под кровлей плотных контактово-измененных метаморфических пород происходило скопление сквозьмагматических флюидов, с которыми связаны метасоматическое преобразование гранитов и урановая минерализация.

Единственное *крупное месторождение ураноносных органогенных фосфоритов* Меловое ни по генезису, ни по минеральному составу не отличается от множества мелких и средних месторождений. К накоплению больших масс костного детрита привело лишь благоприятное положение на приподнятом склоне, доступном для перемыва и отложения по существу фосфоритового концентрата.

Заключение

1. На всех континентах мира, кроме Антарктиды, известны крупные месторождения урана с запасами более 50 тыс. т. Семь из них уже отработано, тринадцать отрабатываются и девять готовятся к эксплуатации. Расположены они в пределах пятнадцати уранорудных провинций, в различных геотектонических обстановках, возраст уранового оруденения от архея до неогена.

2. По классификации МАГАТЭ выделяются 13 промышленных типов месторождений, из которых в десяти имеются крупные месторождения урана.

Два типа месторождений из десяти в данной работе не рассматриваются. Самые крупные месторождения «поверхностного» типа (Йиллари и Лангер Хенрих) имеют запасы менее 50 тыс. т, а тип месторождений в древних конгломератах (рудные районы Витватерсrand и Эллиот-Лейк) служит объектом безуспешных поисков многие годы в разных странах и в настоящее время признан бесперспективным.

Большая часть запасов урана связана с комплексом гематитовых брекчий (26,7%), а также с песчаниковым (22,3%), жильным и штокверковым (17,8%), метасоматическим (10,4%) типами и типом «несогласия» (8,3%). Самое большое количество урана добывается из месторождений «песчаникового» типа (35,8%) и типа «несогласия» (30,6%).

3. Крупные урановые месторождения относятся к трем генетическим сериям: экзогенной, эндогенной и полигенной. В экзогенной серии выделяются две генетические группы – седиментационно-диагенетические и инфильтрационные. К первой относятся органогенные фосфориты, а ко второй – пластово-инфилтратационные месторождения.

В эндогенной серии крупные месторождения урана связаны с гранитоидным магматизмом. Среди них выделяются позднемагматические и магматогенные гидротермальные, а среди последних, в свою очередь, жильные, штокверковые и метасоматические.

К полигенной серии относятся крупные урановые месторождения, образующиеся при смешивании ураноносных гидротермальных растворов с грунтовыми водами и рассолами. Это месторождения типа «несогласия» провинций Атабаска и Пайн-Крик и медно-уранные месторождения в гематитовых брекчиях.

4. Крупные урановые месторождения располагаются внутри скоплений однотипных и разнотипных различных по размерам месторождений и рудопроявлений в геотектонических элементах земной коры, называемых урановыми провинциями. Урановые провинции приурочены к докембрийским щитам и более мелким выступам докембрийского фундамента, складчатым поясам и платформенным чехлам.

Наиболее продуктивны наложенные депрессионные структуры и области тектономагматической активизации докембрийских щитов и срединных массивов, а также чехлы молодых платформ.

Главной особенностью всех урановых провинций – высокая «зараженность» ураном, выраженная обширными радиоактивными аномалиями, большим количеством урановых месторождений, рудопроявлений и точек минерализации. Это обусловлено, по нашему мнению, изначальной неоднородностью мантии и обогащенностью отдельных ее участков радиоактивными элементами.

5. Отдельные рудные пояса и зоны в пределах провинций, вмещающих крупные месторождения, отличаются высокой концентрацией урана, выраженной через коэффициент площадной продуктивности, который меняется в широких пределах для различных генетических типов месторождений (tU/km^2): пластово-инфилтратационные – от 250 до 400 (за редким исключением до 900), позднемагматические месторождения – 125, гидротермальные жильные и штокверковые – 1200-5400, гидротермальные метасоматические – от 300 до 6900, полигенные – 340-540 в рудных поясах и до 160 000 – в отдельных рудных полях. Самая высокая площадная продуктивность урана установлена в полигенном месторождении Олимпик Дэм – 434783 t/km^2 .

6. Крупные месторождения урана сформировались в одиннадцать эпох рудообразования: от трансвааль-гуронской (2100 млн. лет) до раннеальпийской (20 ± 5 млн. лет). Наиболее продуктивными являются гренвильская, варисская, позднекиммерийская и раннеальпийская эпохи.

7. Наибольшее количество крупных месторождений (11) приходится на молодые осадочные бассейны: Притяньшаньский (Буденновское, Инкай, Мынкудук, Харасан, Учкудук), Мали-Нигерийский (Акаута, Арлит, Имоураден), Чешской меловой плиты (Гамп и Страж), Сан-Хуан (Амброзия-Лейк), Прикаспийский (Меловое). Второе место занимают средне-позднепротерозойские прогибы на древних щитах – шесть месторождений: МакАртур, Сигар-Лейк, Ки-Лейк, Игл Поинт, Джабилука, Рейнджер. Пять крупных месторождений приурочены к областям ТМА древних щитов: Украинскому (Новоконстантиновское и Центральное), Алданскому (Южное и Северное) и Восточно-Бразильскому (Итатая).

Четыре месторождения расположены в зонах ТМА срединных массивов и их складчатого обрамления: Чешского массива (Пришибрам, Шлема-Альберода, Шмирхай), Кокчетавского массива (Косачиное), Монголо-Забайкальского складчатого пояса (Стрельцовское). Самое крупное месторождение в мире Олимпик Дэм приурочено к проторифту на контакте докембрийского кратона с позднепротерозойской складчатой

областью, а второе по запасам месторождение Россинг – к гранитоидному ядру в позднепротерозойском складчатом поясе.

8. Анализ генетических моделей и особенностей геологического строения крупных месторождений урана позволил выявить факторы, определяющие размеры месторождений и качество руд. Среди них выделяются факторы, общие для всех типов месторождений, и специфические для каждого типа.

Первый и один из основных факторов формирования крупных месторождений урана – наличие изначального обогащения радиоактивными элементами крупных участков мантии и земной коры, что выражается в расположении крупных месторождений в окружении множества разномасштабных месторождений, рудопроявлений и аномалий, т.е. внутри урановых провинций. В одиночестве крупные месторождения не встречаются.

Вторым фактором, тесно связанным с первым, является наличие мощного источника урана, генерируемого магматическими очагами, расположенными в пределах обогащенных ураном участков мантии. Содержание урана в гидротермальных растворах и флюидах, а в конечном результате и в рудах, зависит от степени изначальной обогащенности ураном и характера его распределения. Для экзогенных месторождений первичный источник определял повышенные содержания урана в магматических и вулканогенных породах в областях питания и в осадочных породах артезианских бассейнов.

Третий универсальный фактор формирования крупных месторождений – длительность процесса рудообразования, протекающего в течение не менее нескольких миллионов лет, что выражается в многоступенчатости минералообразования, неоднократном изменении состава рудоносных растворов, переотложении руд со ступенчатым нарастанием концентраций урана.

9. Для пластово-инфилтратационных месторождений главное значение имеют размеры осадочных бассейнов, мощности водоносныхrudовмещающих горизонтов и расстояние пробега ЗПО от гидрогеологического массива до окислительно-восстановительного барьера. Крупнейшие месторождения локализованы в обширных синеклизыах, в нескольких водоносных горизонтах общей мощностью более 100 м, дальность пробега ЗПО составляет многие десятки километров. В менее обширных бассейнах (грабен-синклиналях) при прочих равных условиях образуются месторождения с менее значительными запасами.

Качество руд зависит от обогащенности ураном источников в области питания или в самихrudовмещающих горизонтах и контрастности окислительно-восстановительного барьера.

Контрастность барьера определяется количеством восстановителей в ЗПО (органики, сульфиды) и проявлением эпигенетических восстановительных процессов, возможно, с дополнительным привносом урана. При одновременном проявлении всех перечисленных факторов формируются крупные месторождения с богатыми рудами.

10. Основным фактором, кроме общих для месторождений всех типов, при формировании крупных гидротермальных месторождений служит наличие объемной дренажной системы, состоящей из рудоподводящих иrudовмещающих тектонических нарушений.

Крупные гидротермальные метасоматические месторождения локализуются в пределах зон глубинных разломов. Крупные полости с оптимальной проницаемостью образуются в узлах пересечения и сопряжения отдельных швов разлома на участках изгибов основной зоны при пересечении складчатых сооружений.

Крупные жильные месторождения слагаются сотнями жил различной мощности, выполняющих разрывные нарушения, образующиеся в кровле крупных гранитоидных массивов, сложенных хрупкими богатыми восстановителями породами.

Крупные штокверковые месторождения сложены множеством структурных «ловушек», соединенных с рудоподводящими разломами оперяющими нарушения.

Большие запасы месторождений обеспечиваются большим общим объемом таких «ловушек».

11. Необходимыми условиями, кроме общих вышеперечисленных, для формирования крупных полигенных месторождений с богатыми рудами является наличие мощных рудоподводящих каналов, большие объемы рудовмещающих структур и высокая контрастность структурно-геохимических барьеров. Наиболее благоприятные условия для образования крупных хорошо проницаемых полостей, заполненных поверхностными рассолами, создаются на участках пересечения «сквозными» зонами разломов поверхности структурно-стратиграфического несогласия.

12. Эти же условия реализуются при формировании крупных полигенных месторождений комплекса гематитовых брекчий, но рудоподводящие каналы в этом случае гораздо крупнее, выполняющие их брекчии в момент рудообразования менее проницаемы и заполнены метеорными водами только вблизи поверхности. Гидротермальные растворы привносили огромное количество железа и меди и были бедны ураном, что отразилось на низком качестве урановых руд.

13. Возможность выявления новых крупных месторождений различна для разных типов месторождений.

Рудные тела богатых месторождений типа «несогласия» даже при больших запасах имеют небольшие размеры, перекрыты мощным чехлом рыхлых отложений и трудны для поисков. Возможность выявления новых месторождений даже в пределах известных прогибов, не говоря уже о слабоизученных структурах, далеко не исчерпана.

Крупные пластово-инфилтратационные месторождения, напротив, при низких содержаниях урана характеризуются огромными размерами, и пропуск их в хорошо изученных бассейнах маловероятен. Исключением составляет бассейн с многоярусным оруденением. Такой, например, как Мали-Нигерийский, в котором месторождения могут располагаться на больших неизученных глубинах. Попутное выявление новых крупных месторождений этого типа можно ожидать в нижних горизонтах платформенных чехлов и в молодых отложениях на шельфе при поисках нефти и газа.

Крупные метасоматические месторождения очень больших размеров и перекрытые маломощным чехлом рыхлых отложений вряд ли могут быть выявлены в пределах хорошо изученных провинций (Центрально-Украинской и Алдан-Тимптонской), но перспективы провинций с трудными условиями поисков (север Восточно-Бразильской провинции) не исчерпаны. Возможно и выявление новых провинций в пределах древних щитов.

В мире известно всего два крупных жильных месторождения. Они весьма ярко проявлены на поверхности многочисленными выходами рудоносных жил, хотя в большинстве случаев не несущих урановой минерализации. Эти выходы с давних пор привлекали внимание и к настоящему времени хорошо изучены, поэтому выявление новых крупных месторождений, с нашей точки зрения, маловероятно.

Крупные гидротермальные штокверковые месторождения широко проявлены в разнообразных геологических обстановках. Наличие на территории России и других стран больших перспективных слабо изученных площадей позволяет оптимистически оценивать возможность выявления новых крупных месторождений этого типа.

Позднемагматические месторождения характеризуются низкими содержаниями урана и большими размерами, они хорошо проявлены на поверхности радиоактивными аномалиями и легко выявляются. Рентабельность их отработки определяется ценами на уран и качеством инфраструктуры. При значительном увеличении цен в эксплуатацию могут быть вовлечены многие месторождения этого типа.

14. Современная минерально-сырьевая база урана и перспективы ее развития, в том числе за счет открытия новых крупных месторождений, вполне достаточна для обеспечения мировой атомной энергетики в XXI веке без привлечения новых экзотических источников типа морской воды или углеродистых сланцев.

Литература

1. Антропов П.Я. Перспективы поисков промышленных месторождений урана в депрессионных зонах земной коры // Геологический журнал, 1969, №5. С.2-10.
2. Афанасьев Г.В., Миронов Ю.Б. Уран в купольных структурах земной коры. СПб: изд-во ВСЕГЕИ, 2010.
3. Бакаржиев А.Х., Макивчук О.Ф., Низовский В.Н., Попов Н.И. Кировоградский урановорудный район Украины // Отечественная геология, 1995, №9. С.45-54.
4. Берикболов Б.Р., Петров Н.Н., Карелин В.Г. Месторождения урана Казахстана (справочник). Алматы, 1991.
5. Беус А.А., Северов Э.А. и др. Альбитизированные и грейзенизованные граниты (апограниты) / М.: Наука, 1962.
6. Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н. Золото и уран в мезозойских гидротермальных месторождениях Центрального Алдана // Геол. рудных м-ний, 1998, т. 40, №4. С.354-369.
7. Бойцов В.Е., Верчеба А.А. Геолого-промышленные типы месторождений урана. М.: «Университет. Книжный дом», 2008.
8. Геология гидротермальных урановых месторождений. Под ред. Д.Н. Щербакова, Ф.И. Вольфсона / М.: Наука, 1966.
9. Ищукова Л.П., Модников И.С., Сычев Н.В. и др. Урановые месторождения Стрельцовского рудного поля в Забайкалье. Иркутск: ГК «Геологоразведка», 2001.
10. Ищукова Л.П., Ашихмин А.А., Константинов А.К., Костиков А.Т., Модников И.С. и др. Урановые месторождения в вулкано-тектонических структурах. М.: ВИМС, 2005.
11. Казанский В.И., Лаверов Н.П., Тугаринов, А.И., Эволюция уранового рудообразования / М.: Атомиздат, 1978.
12. Казанский В.И. Уникальный Центрально-Алданский золото-урановый рудный район (Россия) // Геол. рудных м-ний, 2004, т.46, №3. С.195-211.
13. Кисляков Я.М., Щеточкин В.Н. Гидрогенное рудообразование. ЗАО М.: Геоинформмарк, 2000.
14. Константинов М.М., Куликова Е.Я. Урановые провинции. М.: Атомиздат, 1960.
15. Лаверов Н.П. Условия формирования гидротермальных месторождений в континентальных вулканических поясах. – В кн. «Минеральные месторождения», М.: Наука, 1972.
16. Лаверов Н.П., Смилкстын А.О., Шумилин М.В. Зарубежные месторождения урана / М.: Недра, 1983.
17. Машковцев Г.А., Ткаченко Н.И., Щеточкин В.Н. и др. Морфология и состав термальных эпигенетических новообразований на гидрогенных месторождениях урана // Изв. АН СССР, сер. геол., 1979, №12. С. 119-131.
18. Максимов Е.П., Угрюмов А.Н. Геологическое строение центральной части Алданского щита. Геология и петрология докембрия Алданского щита / М.: Наука, 1966. С.51-58.
19. Машковцев Г.А., Константинов А.К., Мигута А.К., Шумилин М.В., Щеточкин В.Н. Уран российских недр / М.: ВИМС, 2010.
20. Мигута А.К. Состав и парагенетические минеральные ассоциации урановых руд Эльконского района (Алданский щит, Россия) // Геол. рудных м-ний, т.38, 1997, №4. С.323-343.
21. Мигута А.К., Тарханов А.В. Минеральные типы руд урановых месторождений в натровых метасоматитах Украинского щита // Геол. рудных м-ний, 1998, т.4, №6. С.483-499.
22. Наумов Г.Б. Некоторые физико-химические особенности урана в гидротермальных растворах // Геохимия, 1961, №2. С.8-11.

23. Наумов С.С., Шумилин М.В., Урановые месторождения Алдана // Отечественная геология, 1999, №4. С.20-23.
24. Основы прогноза урановорудных провинций и районов. Под редакцией Н.Н. Лаверова / М.: Недра, 1986.
25. Петров Н.И., Язиков В.Г. и др. Урановые месторождения Казахстана (эксогенные) / Алматы: Гылым, 1995.
26. Петров Н.И., Язиков В.Г. Урановые месторождения Казахстана (эндогенные) / Алматы: Гылым, 2000.
27. Печенкин И.Г., Печенкин В.Г. Металлогения осадочного чехла Туранской плиты // Литология и полезные ископаемые, 1996, №4. С.366-375.
28. Пакульник Г.В., Шумилин М.В., Месторождения урана типа «несогласия» района Атабаска (Канада) // Минеральное сырье, 2005, вып. 17.
29. Прогнозирование и комплексное изучение рудных районов, перспективных на выявление урановых месторождений типа несогласия (методическое руководство). Геокарт, М-СПб: ГЕОС, 2006.
30. Рафальский Р.П. Физико-химическое исследование условий образования урановых руд. М.: Госатомиздат, 1963.
31. Справочник геолога по поискам и разведке месторождений урана. М.: Наука, 1989.
32. Столяров А.С., Ивлева Е.И. Ергенинский ураново-редкометалльный район Калмыкии // Минеральное сырье, вып. 19. 2008.
33. Тарханов А.В., Шаталов В.В. Уран 2009: Ресурсы, производство и потребности // Минеральное сырье, сер. геол.-экономическая, вып. 29, 2010.
34. Тишкун А.И., Тарханов А.В., Стрельцов В.А. Урановые месторождения древних щитов / М.: Недра, 1990.
35. Урановые месторождения Чехословакии / М.: Недра, 1984.
36. Учкудукский тип урановых месторождений Республики Узбекистан. Под редакцией Т.Ш. Шаякубова / Ташкент: ФАИ, 1996.
37. Хилперт Л., Мейч Р. Месторождения урана в южной части бассейна Сан Хуан (шт. Нью-Мексико). Тр. II междунар. конф. по мирному использованию атомной энергии. Избр. докл. иностр. учёных. М.: 1959. С.1005-1015.
38. Шарков А.А. Ураново-редкометалльные месторождения Мангышлака и Калмыкии, их генезис / М.: Эслан, 2008.
39. Шарков А.А., Печенкин И.Г. Ураново-редкометалльное месторождение Меловое органогенно-фосфатного типа на Мангышлаке / М.: Эслан, 2009.
40. Шарков А.А. Условия образования и генезис стратиформных ураново-редкометалльных месторождений Восточного Паратетиса. М.: РосГео, 2011.
41. Шаталов В.В., Тарханов А.В., Никольский А.Л. Новая концепция освоения резервных месторождений Эльконского урановорудного района в Республике Саха (Якутия) // Минеральные ресурсы России, 2006, №5. С.43-48.
42. Шмариевич Е.М., Машковцев Г.А., Рослый А.И. и др. Два класса руд и рудоконтролирующей пластовой зональности на эпигенетическом месторождении урана // Советская геология, 1974, №7. С.56-68.
43. Щеточкин В.Н., Шмариевич Е.М., Левдонский В.Л. О структурном контроле месторождений урана в зонах пластового окисления // Геол. рудных м-ний, 1974, №1. С.104-109.
44. Щукин С.И. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы ОАО «ППГХО» // Горный журнал, 2008, №8. С.24-27.
45. Berning J., Cook R. The Rossing Uranium Deposit, South West Africa. Economic Geology, v.71, №1, 1976, p.1819-1832.

46. Cazolt M. Geologic Environment of the Uranium deposits in the carboniferous and Jurassic sandstones of the Western margin of the Air Mountains in the Republic of Niger. Report, Cogema, 2001.
 47. Dahlkamp F.J. Geological appraisal of the Key-Lake U-Ni deposits northern Saskatchewan. Economic Geology, 73, 1978, p.1430-1444.
 48. Finch W.T. Geology of epigenetic uranium deposits in sandstone in the United States. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 538, 1967.
 49. Grema M. The Imouraren deposits, Niger. Report of the Ministry of Mains and Eneasy. Niger, 2008.
 50. Lee M.J., Brookins D.G. Rubidium-strontium minimum ages of sedimentation, uranium mineralization and provenance, Morrison Formation, Grants Mineral Belt, New Mexico. AAPG Bull., v.62, №9, 1978, p.1673-1683.
 51. Nash J.T., Kerr P.F. Geologic limitations on the age of uranium deposits in the Jacupile Sandstone. New Mexico. Econ. Geol., v.61, №7, 1966, p.1283-1287.
 52. Pagel M. Uranium deposits in the Arlit area (Niger). Report, Cogema, 2005.
 53. Tarkhanov A.V., Poluarshinov G.P. Spatio-Chronological position of Precambrian uranium deposits. Metallogenesis of Uranium deposits. IAEA, Vienna, 1989, p.201-210.
 54. Tarkhanov A.V., Nikolskiy A.L., Ashtiani A.R., Bokarzhiev A., Marcos A. Oliveira. Uranium metasomatite type deposits. Report of 32nd IGC in Florence, 2004.
 55. Uranium in the Pine Creek geosynclines. IAEA , Vienna, 1980.
 56. Uranium geology of South Australia: IAEA Uranium Geology Group excursion notes and selected publications. Government of South Australia, 2008.
 57. Uranium Group Field Trip Seskatchewen, Canada, August 21-23, 2010.
- Uranium 2009: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. NEA, №6891, 2010.

Научное издание
ФГУП «ВИМС»

Тарханов Алексей Владимирович
Бугриева Елена Павловна

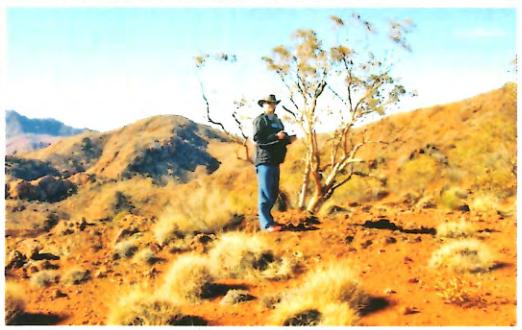
Крупнейшие урановые месторождения мира
под редакцией профессора Г.А.Машковцева

Минеральное сырье, № 27

Редактор И.Е. Дмитриева
Компьютерная верстка Е.О. Козлова, А.В. Барышников

Подписано в печать 02.07.2012 г.
Формат 60×90 1/8. Усл. печ. л. 8,7
Тираж 150 экз. Заказ № 64.

Редакционно-издательский сектор (РИС) ВИМС.
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31. Тел. (495) 9503570
Отпечатано на ризографе в РИС ВИМС.



ISBN 978-5-901837-81-8

A standard linear barcode representing the ISBN number 978-5-901837-81-8.

VIMS  ВИМС

9 785901 837818