

Н. Н. ПЕТРОВ, В. Г. ЯЗИКОВ,
Х. Б. АУБАКИРОВ, В. Н. ПЛЕХАНОВ,
А. Ф. ВЕРШКОВ, В. Ф. ЛУХТИН

**УРАНОВЫЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КАЗАХСТАНА
(экзогенные)**

N. N. PETROV, A. G. YAZIKOV,
H. B. AUBAKIROV, V. N. PLEKHANOV,
A. F. VERSHIKOV, V. F. LUKHTIN

URANIUM
DEPOSITS
OF KAZAKSTAN
(exogenous)

ALMATY
«GYLYM»
1995

Н. Н. ПЕТРОВ, В. Г. ЯЗИКОВ,
Х. Б. АУБАКИРОВ, В. Н. ПЛЕХАНОВ,
А. Ф. ВЕРШКОВ, В. Ф. ЛУХТИН

УРАНОВЫЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КАЗАХСТАНА
(экзогенные)

АЛМАТЫ
«ГЫЛЫМ»
1995

Петров Н. Н., Язиков В. Г., Аубакиров Х. Б., Плеханов В. Н.,
Вершков А. Ф., Лухтин В. Ф. Урановые месторождения Казахстана:
(экзогенные). Алматы: Гылым, 1995.— 264 с.

Впервые в открытой печати дается характеристика промышленных типов экзогенных урановых месторождений Казахстана, локализованных в мезозойско-кайнозойских отложениях. Рассматриваются история открытия и закономерности размещения важнейших урановорудных провинций и районов, рудоконтролирующие факторы и условия образования оруденения. Приводится описание отдельных месторождений. Характеристика гидротермальных месторождений урана, связанных с домезозойскими образованиями, дается в краткой, справочной форме.

Для широкого круга специалистов, занимающихся прогнозированием, поисками и изучением рудных месторождений.

Библиогр. 55 назв. Ил. 48. Табл. 7.

Ответственный редактор
академик НАН РК А. А. Абдулин

Рецензенты:
доктора геолого-минералогических наук Л. А. Мирошниченко, В. Г. Ли

©Петров Н. Н., Язиков В. Г., Аубакиров Х. Б.,
Плеханов В. Н., Вершков А. Ф., Лухтин В. Ф.,
1995

Petrov N. N., Yazikov V. G., Aubakirov H. B., Plekhanov V. N., Vershkov A. F., Lukhtin V. F. Uranium deposits of Kazakhstan: (exogenous). Almaty: Gylm, 1995. —264.

In the book, for the first time in public press the description of exogenous uranium deposits of industrial types of Kazakhstan which are located in Mesozoic and Cainozoic sediments, is given. The history of opening and conformity to laws of placing of the most important uranium ore provinces and regions, ore controlling factors and conditions of forming of mineralization, are considered. The description of hydrothermal uranium deposits connected with Pre-Mesozoic formations, is given in short reference form.

The work is of great interest for the range of specialists engaged in prognostication, research and studying of ore deposits.

Managing Editor is academician A. A. Abdulin

Reviewers: Doctors of geology L. A. Miroshnichenko, V. G. Li.

©Petrov N. N., Yazikov V. G., Aubakirov H. B.,
Plekhanov V. N., Vershkov A. F., Lukhtin V. F.,
1995

БИБЛИОТЕКА
Казахстанский ядерный
Университет

ISBN 5-7117-0000-0

В конце 1994 г. было официально объявлено о продаже Казахстаном крупной партии урана Соединенным Штатам Америки. Это существенный шаг в выходе республики на международный рынок минерального сырья.

Как известно, до недавнего времени сведения об уране были недоступны широкой геологической общественности. Авторы монографии, известные специалисты в области металлогении урана, задались целью дать характеристику крупнейшей в мире казахстанской урановой минерально-сырьевой базы, а также основных типов урановых месторождений и тем самым, хотя бы частично, восполнить существующий дефицит информации.

Основное внимание в работе уделено важнейшим промышленным типам эпигенетических пластово-инфильтрационных (гидрогенных) месторождений, являющихся базой для добычи наиболее дешевого уранового сырья подземным выщелачиванием.

Изложению фактического материала предпослана справка, в которой авторы знакомят читателя с динамикой потребления урана, его значением в атомной промышленности и с историей создания в республике урановой сырьевой базы. Для полноты картины дана краткая характеристика казахстанских месторождений, ассоциирующихся с домезозойскими геологическими формациями. В аннотированном виде приведено описание ураноносности Северо-Казахстанской и Кендыктас-Чу-Или-Бетпак-Далинской провинций.

В настоящее время в связи с переориентацией добычи на высококорентабельный уран экзогенных месторождений многие домезозойские объекты законсервированы, поэтому основу монографии составили материалы по ураноносности мезозойско-кайнозойских формаций.

Формирование мезозойско-кайнозойских депрессионных структур происходило преимущественно в условиях инфильтрационного режима артезианских бассейнов с образованием региональных зон грунтового и пластового окисления в меловых и палеогеновых отложениях, вмещающих урановые месторождения четырех урановорудных формаций. Главная сырьевая база и добыча урана методом подземного выщелачивания связаны с месторождениями

эпигенетической урановорудной формации региональных зон пластового окисления. Практический интерес представляют также субформации ураноугольных месторождений в триасово-юрских и органично-фосфатная в олигоценово-миоценовых отложениях. Оруденение верхнего, позейского, структурно-формационного комплекса промышленного значения не имеет.

Систематизация материала и описание месторождений даны по урановорудным провинциям, субпровинциям и районам в принятой авторами классификации. Основу составляет эпигенетическая урановорудная формация региональных зон пластового окисления. Интересующиеся месторождениями такого типа, а также потенциальной ураноносностью республики найдут в разделах, посвященных этой формации, необходимые сведения как по главнейшим ураноносным провинциям (Чу-Сарысуейской, Сырдарьинской), металлогеническим зонам и урановорудным районам, так и по наиболее представительным месторождениям. Месторождения описаны по одному плану — стратиграфия, тектоническая структура, гидрогеология, гидрохимия, урановое оруденение, морфология залежей, минеральный состав руд, попутные компоненты, геотехнологическая характеристика руд, генезис. Большой интерес представляют разделы, посвященные ураноугольным и оригинальным органично-фосфатным месторождениям. В монографии дано отражение и другие типы урановых месторождений, пока не имеющих в Казахстане промышленного значения, — син- и экзогенетические.

Наряду со сведениями об уране — главном компоненте месторождений — работа содержит материалы по элементам-спутникам: рению, селену, редким землям и т. п., промышленные концентрации которых могут составить серьезную конкуренцию таким же элементам, извлекаемым из гипогенных руд. Комплексность руд особо отмечается при описании всех месторождений.

В заключение следует отметить, что монография, безусловно, будет положительно оценена широкой геологической общественностью как в республике, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья. Она представит интерес для специалистов различных организаций, прямо или косвенно связанных с освоением урановых месторождений Казахстана, для зарубежных инвесторов, деловых кругов.

At the end of 1994 it had been declared about the sale of merchant quantities of uranium to the United States of America. This event had been considered as important step for a break into a mineral feed market. Earlier the information about uranium was being highly limited and inaccessible for wide geological community.

The monograph authors who are the specialists in uranium metallogeny have made up in their mind to give the characteristics of large uranium mineral feed base created in Kazakhstan, to acquaint the geological community with main uranium deposits types that to make up for existing deficiency of information.

A main attention of work is paid to the most important industrial types of epigenetic stratum-infiltration (hydrogenous) deposits which are basic for extraction of the cheapest uranium feed by in-situ leaching method.

Before the factual composition there is a reference in which the authors acquaint readers with the dynamics of uranium consumption and significance of uranium for atomic industry and with history of the largest uranium feed base creation in Kazakhstan. To give a complete picture about uranium mineralization the summary about Republic deposits connected with Pre-Mesozoic geological formations is given. The description of uraniferous North-Kazakstani and Kendyktas-Chuily-Betpakdalinskaya provinces is given as annotation. In issues of deposits forming the preference is shown to regeneration processes. The source is geochemical uranium specified rocks of ancient complexes. In connection with re-orientation of extraction to high profitable uranium of exogenous Chalk-Paleocene deposits some Pre-Mesozoic objectives has been closed down.

Materials on uraniferous Mesozoic-Cainozoic formations constitute the monograph foundation.

Forming of Mesozoic-Cainozoic depressive structures had been going on under the conditions of infiltration regime of artesian basins with forming of regional ground and stratum oxidation zones in Chalk and Paleogenic sediments which are including uranium deposits belonging to four uranium-oreformations. The main raw-materials base and extraction of uranium by in-situ leaching method are connected with deposits of epigenetic uranium-ore formation of regional stratum oxidation zones. Subformations of uranium — coal deposits in Trias-Jurassic sediments and organic genetic phosphate subformation in Paleogenic sediments represent an interest. Mineralization of upper new structural-formation complex is not of industrial importance.

Systematization of the material and description of deposits is given on uranium-ore provinces, subprovinces and regions in accordance with classification accepted by the authors. Epigenetic uranium-ore formation of regional stratum oxidation zones constitutes

the foundation. Any person interesting in such type deposit and in potential uraniferous possibility of the Republic can find in parts of this work, which are dedicated to the above-mentioned formation, all necessary information about compound of uranium, stocks and prognosticated resources as of main uraniferous provinces (Chusaryssuiskaya, Syr-Daryinskaya), metallogenic zones and uranium-ore regions, so as of more considerable deposits and appropriateness of their disposal.

All deposits are described according to the same plan: stratigraphy, tectonic structure, hydrogeology, hydrochemicals, uranium mineralization, morphology of deposits, mineral compound of ores, accompanied components, geotechnological characteristics of ores, genesis. Any reader can get exhaustive information about these types of deposits. The parts dedicated to uranium-coal and original organic genetic phosphate deposits are of great interest. Also, there is a short summary about other types of uranium deposits which are not of industrial importance. These are the deposits of syn- and exogenic uranium-ore formations.

Except uranium, the main deposit component, there is an information about the accompanied elements: rhenium, selenium, rare-earth ones, industrial concentrations of which are in competitions with the same elements extracted from hypogenic ores. Composition of ores is like the red line in description all deposits.

The work is completed enough and illustrated with graphics which supplements the text.

We want to mention one more time that the work had been prepared by the qualified specialists who are masters of factual material which is the result of their own research. It gives the work a creative character. The monograph will be positively estimated, without any doubt, by the wide geological community in the Republic of Kazakhstan, as well as abroad. The work will be of great interest for the specialists of different Ministries, administrative departments, foreign investors, business circles and any other people and organizations directly or indirectly connected with developing of uranium deposits of Kazakhstan. Also the monograph will be of interest for rising generation that is for students of different countries who will be engaged in sphere of mineral feed sources.

В декабре 1942 г. в США был запущен первый исследовательский атомный реактор. Это резко повысило значимость урана как стратегического сырья, чему в немалой степени также способствовала беспримерная по своей разрушительной силе атомная бомбардировка японских городов Хиросима и Нагасаки. Последовала гонка государств за обладание ядерным оружием и сырьевыми источниками уранового сырья.

Пуск в 1954 г. в Обнинске первой в мире атомной электростанции положил начало эре мирного использования атомной энергии. Уже в 1986 г. выработка электроэнергии на АЭС мира достигла 15% от общего количества энергии, производимой всеми электростанциями, а в ряде стран ее доля составила 30% (Швеция, Швейцария), 50% (Бельгия) и даже 65—70% (Франция). Достаточно успешно атомная энергетика развивалась и на территории бывшего Советского Союза: строились АЭС, наращивалась минерально-сырьевая урановая база.

Происшедшая в 1986 г. Чернобыльская авария помимо колоссального общего ущерба людям, народному хозяйству страны нанесла тяжелый удар по ядерной энергетике в целом и прежде всего по развивающейся в бывшем СССР, где стало формироваться общественное мнение о необходимости полного запрещения строительства новых и ликвидации действующих АЭС. Однако всесторонний анализ перспектив развития мировой энергетики однозначно показал, что реальных альтернатив у других видов энергии по отношению к атомной энергетике в обозримом будущем, по существу, нет — при обязательном условии, что проектирование и строительство АЭС осуществляется с многократным запасом прочности, с обеспечением их полной безопасности. Именно по такому пути развивается в настоящее время атомная энергетика в высокоразвитых странах — во Франции, Бельгии, в сейсмоактивной Японии, США и других.

Уже в 1990 г. мощность АЭС во всем мире достигла около 327 млн кВт и возрастет, по данным МАГАТЭ, к 2005 г. до 447 млн кВт. Интенсивное развитие атомной энергетики и промышленности на фоне довольно ощутимого в последние годы сокраще-

ния ядерных вооружений совершенно определенно вывели уран в разряд высокоэффективного топливно-энергетического сырья, при этом доля использования ядерной энергии непрерывно растет. Соответственно изменяется и динамика потребления урана. Даже в самое нелегкое (после Чернобыльской катастрофы) пятилетие — с 1986 по 1990 г. — мировое потребление урана (без СНГ и стран Восточной Европы) выросло с 41,3 до 46,7 тыс. т, а в 1991 г. суммарная мировая потребность в уране оценивалась уже в 47,7 тыс. т, причем в условиях ярко выраженного дисбаланса с его воспроизводством (38,2 тыс. т); дефицит сырья компенсировался складскими запасами.

Особо следует выделить то обстоятельство, что страны, развивающие атомную энергетику, неодинаково обеспечены урановыми ресурсами. В таких условиях важное значение для удовлетворения спроса на энергетическое урановое сырье приобретает мировой рынок, где повышенный интерес к урану возникает не только в странах, интенсивно развивающих атомную энергетику, но и у государства, способных выступать в качестве его экспортеров. Иными словами, наличие долговременной минерально-сырьевой базы урана в современных условиях мировой экономики может стать гарантом успешного развития атомной энергетики и промышленности, всей экономики как потребляющих, так и экспортирующих урановое сырье стран.

Казахстан с его многообразными геологическими условиями и крупнейшими запасами различных полезных ископаемых по запасам природного урана занимает одно из первых мест в мире. За последние четыре десятилетия на его территории усилиями специализированных геологоразведочных экспедиций и горнорудных комбинатов при участии центральных и республиканских научно-исследовательских институтов, геологических организаций, проводивших массовые поиски, создана уникальная урановая сырьевая база, представленная месторождениями различных рудных формаций, связанных с разновозрастными структурно-формационными комплексами. В ходе этих работ и исследований накоплен колоссальный фактический материал, изучено геологическое строение многих территорий, разработаны оригинальные прогнозно-поисковые концепции — все это, несомненно, может представлять интерес для широкого круга специалистов различного геологического профиля.

Решение в сжатые сроки поставленных государством задач по выявлению и развитию урановорудной сырьевой базы в Казахстане во многом стало возможным благодаря концентрации в специально созданных производственных структурах подготовленных научно-технических кадров, денежных и материальных ресурсов, наиболее передовой техники и оборудования. Вместе с тем работы по созданию атомной сырьевой базы проводились в обстановке строгой режимности и ведомственных ограничений при отсутствии

в достаточном объеме публикаций, что не способствовало распространению полученных материалов, нормальному широкому обмену геологической информацией.

Теперь, когда Казахстан стал самостоятельным суверенным государством и получил право безраздельного пользования своими природными ресурсами, ситуация изменилась коренным образом; перед урановой геологической службой и промышленностью возникли принципиально иные цели и задачи. Одна из них — выход на международный сырьевой рынок в качестве полноправного члена мирового экономического сообщества, создание через МАГАТЭ прочных многосторонних связей с зарубежными странами, развивающими атомную энергетику. Для успешного развития отрасли и решения диктуемых временем новых задач в республике создана Национальная акционерная компания по атомной энергетике и промышленности (НАК КАТЭП), объединившая расположенные на ее территории предприятия, занимающиеся поисками и разведкой, добычей и переработкой сырья и производством оборудования для атомной энергетики.

Следует отметить то обстоятельство, что в предлагаемой работе не всегда используются общепринятые геологические термины. Некоторые из них — это относится прежде всего к стратиграфическим наименованиям рудовмещающих горизонтов — были введены зачастую раньше общепринятых и прочно утвердились в практике многолетних специализированных геологических работ на уран. Естественно, что в работе частично использована эта терминология. Можно также заметить, что во избежание необоснованного увеличения объема работы (в ущерб поставленным задачам) в ней не приводятся такие, например, сведения, как обоснование возраста стратиграфических подразделений, характеристика дискуссионных взглядов на одно и то же явление (за редкими исключениями) и т. д.

Авторы благодарны всем специалистам и организациям, материалы которых использованы в настоящей работе, и надеются, что изложенные в работе сведения представят интерес для широкого круга специалистов в Республике Казахстан и за ее пределами.

Глава 1

**ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ
УРАНОВОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ
КАЗАХСТАНА**

Широкомасштабное использование урана началось сравнительно недавно, в 40-х гг. текущего столетия. Резко возросшая потребность в уране связана с успехами в атомной промышленности, когда урановая руда стала одним из источников получения расщепляющихся материалов для военных целей и атомной энергетики. Интенсивное развитие атомной промышленности в бывшем СССР, обусловленное наращиванием ядерного потенциала и бурным ростом энергетики на базе атомных электростанций, потребовало создания собственной минерально-сырьевой базы урана. Для решения этой задачи при Министерстве геологии СССР в 1947 г. было организовано Первое главное геологоразведочное управление, вернувшее широкомасштабные поиски урана в различных регионах страны.

История создания сырьевой базы урана в Казахстане связана с деятельностью на ее территории Волковской, Степной, Краснохолмской, Кольцовской экспедиций Первого главного геологоразведочного управления Министерства геологии СССР. Кроме того, большие объемы попутных («массовых») поисков выполняли коллективы территориальных геологических управлений республики. Существенный вклад в повышение направленности работ, совершенствование методов поисков, разведки и подготовки месторождений к промышленному освоению был внесен коллективами ВИМСа, ВСЕГЕИ, ВНИИХТа, ПромНИИпроекта, ВИРГа, Казахского филиала ВИРГа, ВСЕГИНГЕО, ИГЕМ АН СССР, ИГН АН КазССР и др.

В истории поисков и разведки урановых месторождений в Казахстане выделяются три основных периода. Первый период, охватывающий 40—50-е гг., начался с радиометрического обследования и ревизии главным образом месторождений других полезных ископаемых. Вскоре были широко развернуты сначала наземные, а затем и аэrorадиометрические поиски, которые проводились в основном на площадях распространения мезозойских геологических формаций и в прибортовых частях мезозойско-кайнозойских депрессионных структур. Эти работы выполнялись преимущественно Волковской экспедицией, а в аэро-

поисках участвовали также Краснохолмская (Ташкент), Шабровская (Екатеринбург) и Ферганская (ВИМС, Москва) экспедиции. В Прикаспийском регионе Казахстана специализированные наземные геологоразведочные работы проводила Кольцовская экспедиция (Ессентуки).

В начальный период работы ориентировались в основном на урановые месторождения, локализованные в домезозойских образованиях.

Первым промышленным урановорудным объектом стало Курдайское месторождение, выявленное в 1951 г. при пешеходных поисках в Южном Казахстане в горах Кендыктас (Н. Ф. Карпов, А. И. Юдаков, Д. Т. Алексеенко, А. Л. Лапин). Оно было оперативно разведано и уже в 1953 г. передано в эксплуатацию (А. А. Ковалев, В. П. Ходоразде, Н. Д. Михайлова, А. А. Татарников).

В 1953—1957 гг. при проведении попутных поисков на уран в эффузивах девонского вулканического пояса Чу-Балхашского водораздела были открыты месторождения Ботабурум и Кызылсай. Первое из них было выявлено в 1953 г. Чу-Илийской ПСП Юж-казгеологии (И. В. Хохлов). Промышленные масштабы месторождения установлены партией № 51 Волковской экспедиции, а в 1956 г. месторождение передано для промышленного освоения.

В 1957—1958 гг. в 70 км к западу от месторождения Ботабурум, Карсайской ПСП (Н. С. Медоев, И. И. Парецкий и др.) был обнаружен ряд рудопоявлений урана. Оценка их партией № 21 Волковской экспедиции (А. Л. Лапин, М. Я. Дара и др.) привела к открытию месторождения Кызылсай. В ходе разведочных работ был определен комплексный ураномолибденовый состав руд. Созданные на базе этих месторождений добычные предприятия Киргизского горнорудного комбината действовали более 25 лет.

В Северном Казахстане аэrorадиометрическими поисками, проведенными Волковской экспедицией (Н. М. Салов, А. Е. Сергеев), в 1953 г. были выявлены Кубасадырское, Балкашинское и Шатское месторождения урана, что положило начало образованию новой урановорудной провинции (УРП). В 1954 г. было открыто крупное Маньбайское месторождение, а в 1955 г. — месторождения Заозерное и Ишимское. Для форсирования разведки выявленных месторождений и расширения поисков на уран в этом регионе на базе группы партий Волковской экспедиции в 1955 г. была создана Степная экспедиция. Уже в 1957 г. Целинному горно-химическому комбинату для отработки были переданы месторождения Маньбай и Тастыколь. Таким образом, усилиями Волковской и Степной экспедиций уже в первый период поисково-разведочных работ была выявлена крупная Северо-Казахстанская урановорудная провинция, представленная обширной группой месторождений гидротермального типа. Среди специалистов, участвовавших в работах в то время, необходимо выделить Ю. М. Поволоцкого, И. Д. Рогозина, В. Н. Сухоручкина, Н. Ф. Карпова, Г. С. Гречкина, Л. Я. Меламуда,

Г. К. Грузинского, А. А. Татарникова и других. Существенная помощь геологической службе была оказана ВСЕГЕИ (А. И. Семёнов) и ВИМСом (М. Н. Альтгаузен).

В мезозойско-кайнозойских образованиях поисковые работы в первый период были несистематическими, с применением весьма незначительных объемов бурения. На большей части Казахстана они привели к выявлению лишь непромышленных концентраций, приуроченных к верхним слоям рыхлого чехла. И только на крайнем юго-западе республики, на п-ове Мангистау (Мангышдак), поиски оказались успешными: в 1954 г. аэропартией Ферганской экспедиции ВИМСа (А. И. Лаубенбах, Л. Н. Скосырева) была выявлена группа радиоактивных аномалий и рудопроявлений, связанных с пластами глин, обогащенных ураноносными рыбными остатками. В итоге оценочных работ, проведенных Мангышлакской партией № 45 Кольцовской экспедиции, в 1956 г. было открыто крупное месторождение Меловое, на базе которого создан Прикаспийский горно-металлургический комбинат (теперь КАСКОР) и заложен город Шевченко (ныне Актау). Затем были обнаружены другие месторождения (Томак, Тасмурун, Тайбагар), в результате чего п-ов Мангистау оформился в качестве самостоятельного урановорудного района (УРР) с уникальным органогенно-фосфатным типом комплексного уран-редкоземельно-фосфорного оруденения.

В 1957 г. в Юго-Восточном Казахстане, в южном борту Илийской впадины, буровыми скважинами южной группы нефтеразведочной экспедиции ЮКГУ в нижне-среднеюрской терригенной толще были установлены кондиционные урановорудные интервалы Кольджатского месторождения, приуроченные к кровле угольных пластов с промышленной мощностью (Р. А. Шахов, Г. П. Филиппев).

Таким образом, уже на первом этапе специализированных поисков на территории Казахстана были выявлены два урановорудных района — Прибалхашский и Мангистауский — и Северо-Казахстанская урановорудная провинция. Все они были вовлечены в промышленное освоение Киргизским горнорудным, Прикаспийским горно-металлургическим и Целинным горно-химическим комбинатами.

В целом работы первого этапа ориентировались главным образом на выявление месторождений, локализованных в домезозойских геологических формациях, имеющих выходы на дневную поверхность. Вместе с тем уже в этот период было сделано одно из выдающихся открытий в области экзогенной металлогении: в Центральных Кызылкумах (Узбекистан), в прибрежно-морских меловых отложениях, в результате аэропоисков было обнаружено крупное Учкудукское месторождение, где в конце 50-х гг. геологами Краснохолмской экспедиции В. М. Мазиным и Г. А. Печенкиным была установлена пространственная связь уранового оруденения с

границами зон пластовой лимонитизации, развивающихся в пронизываемых водоносных горизонтах. На основании этой эмпирически выявленной закономерности группой исследователей (Е. М. Шмариович, Е. А. Головин, А. И. Перельман, А. И. Германов, А. К. Лисицин и др.) при активном участии специалистов Краснохолмской экспедиции была разработана теория эпигенетического происхождения урановых месторождений, в которой урановое оруденение рассматривалось в качестве закономерного члена пластовой окислительной зональности.

Во второй период, охватывающий 60-е гг., в Южном и Юго-Восточном Казахстане Волковской экспедицией по инициативе А. А. Ковалева были проведены поиски бурением аналогов Учкудукского месторождения, связанных с зонами пластового окисления. Они охватили прибортовые части Сырдарьинской и Чу-Сарысуйской депрессий, Северо-Западное Приаралье, северный и южный борты Илийской долины. Степная экспедиция Первого главного геологоразведочного управления подобные поисковые работы выполняла в восточной прибортовой части Тургайского прогиба.

Основные результаты этих работ сводятся к следующему. В эоценовых отложениях восточного борта Сырдарьинской впадины партией № 27 Волковской экспедиции (Г. С. Гречкин, Н. Н. Петров, Г. Д. Потапов и др.) были выделены и откартированы перспективные водоносные горизонты, в связи с которыми установлены и прослежены на расстояние до 100 км зоны пластового окисления (ЗПО), выявлены месторождение Кызылколь и ряд рудопроявлений. В районе северо-западной оконечности хр. Большой Каратау также были установлены ЗПО и связанное с ними рудопроявление Даут. В дальнейшем район Сырдарьинской депрессии был передан Краснохолмской экспедиции, сосредоточившей в 60-е гг. основные усилия на оценке рудоносности палеогеновых отложений, в которых ею были разведаны месторождения Кызылколь, Чаян, Лунное (Н. А. Малахов, Е. А. Эммануилов).

К основным итогам поисковых работ, проведенных в этот период в Чу-Сарысуйской депрессии, следует отнести установление широкого развития ЗПО в разновозрастных отложениях мезозойско-кайнозойского чехла, открытие связанного с ними месторождения Уванас и ряда перспективных рудопроявлений, в том числе Жалпакского (Е. С. Домаев, А. Д. Поломошнов).

Месторождение Уванас и другие пластово-инфильтрационные рудные объекты, выявленные во второй период, были отнесены к непромышленным (применительно к горному способу отработки) из-за низких содержаний металла и значительной обводненности рудовмещающих горизонтов.

В Илийской впадине партией № 11 Волковской экспедиции были установлены промышленные масштабы Кольджатского ураноугольного месторождения. При этом впервые были высказаны представления о связи уранового оруденения на этом месторождении

с границами зон грунтового и пластового окисления (В. Ф. Лухтин, А. А. Ковалев).

К середине 60-х гг. поиски месторождений ЗПО в Казахстане были приостановлены из-за резкого ужесточения требований промышленности, связанных с существующими трудностями при горной отработке рыхлых и обводненных песчаных руд.

Определенный спад к этому времени наметился и в поисковых работах, ориентированных на выявление гидротермальных месторождений в домезозойских образованиях. Уже известные объекты были в основном разведаны, а фонд легко открываемых с поверхности месторождений заметно иссяк. В этих условиях геологическими службами специализированных экспедиций совместно со специалистами научно-исследовательских институтов были разработаны методики выявления скрытого («слепого») и слабопроявленного уранового оруденения на основе глубокого изучения и картирования окорудных гидротермальных изменений и сопровождающих их геохимических ореолов элементов-спутников. В Северном Казахстане эти методики были успешно реализованы в открытии ряда новых месторождений, в том числе крупного Грачевского (Н. С. Зыкова, В. Н. Шляпникова); в Центральном Казахстане было открыто месторождение богатых руд Джидели (Б. Куримбаев, Е. П. Хрусталева и др.); в Южном Казахстане в эти годы обнаружены новые рудные участки месторождения Кызылсай, урано-молибденовое месторождение Байтал (М. Я. Дара, В. Г. Карелин, И. К. Тыркин, Н. Я. Бабкин и др.).

Третий период работ (с конца 60-х по 1990 г.) тесно связан с внедрением в практику нового прогрессивного метода отработки обводненных месторождений — подземного выщелачивания (ПВ). Трудно переоценить поистине революционную роль, которую сыграло внедрение этого способа в создание минерально-сырьевой базы в Южном Казахстане. В частности, применение данного метода определило удивительное превращение неблагоприятных (для горного способа) особенностей эпигенетических месторождений, таких, как высокая обводненность и слабая литификация пород и руд, в их главные достоинства, позволяющие добывать уран и попутные компоненты без извлечения рудной массы и вмещающих пород на поверхность и тем самым существенно сократить негативное воздействие на природную среду. С внедрением метода ПВ в мезозойско-кайнозойских депрессионных структурах Казахстана вновь были широко развернуты поисково-оценочные работы на уран, причем акцент был сделан на районы с уже определенной рудоносностью — Чу-Сарысуysкую и Сырдарьинскую депрессии.

В качестве первоочередного объекта эксплуатации методом ПВ было выбрано месторождение Уванас. В 1969 г. оно было вовлечено в предварительную разведку (Н. Н. Петров, Г. Д. Потапов, Э. Г. Хасанов), а успешное проведение совместно с Киргизским комбинатом полевых испытаний по подземному выщелачиванию

позволило перевести это месторождение из непромышленных в крупный промышленный объект с исключительно благоприятными геотехнологическими условиями. После детальной разведки, проведенной партией № 27 Волковской экспедиции, с 1977 г. оно было передано в эксплуатацию. В эти же годы партия № 27 перевела рудопроявление Жалпак в разряд месторождений, а в 1976 г. открыла уникальное месторождение Мынкудук (Н. Н. Петров, Э. Г. Хасанов, В. Н. Плеханов, А. А. Коковкин, Г. В. Федоров и др.). Детальная разведка этого месторождения проводилась в два этапа: 1976—1981 и 1982—1991 гг. В 1977 г. на Восточном участке месторождения Мынкудук был проведен полномасштабный опыт по подземному выщелачиванию. Этот участок находится в промышленной отработке с 1982 г.

В последующие годы партией (с 1979 г. экспедицией) № 27 в верхнемеловых отложениях Чу-Сарысуysкой депрессии открыты уникальные по масштабам месторождения Инкай и Буденновское, а также менее значительные объекты: Акдала, Шолак-Эспе, Караконин (Н. Н. Петров, Л. Г. Павлов, В. Н. Плеханов, Э. Г. Хасанов, Г. В. Федоров, С. А. Шепелев).

Для оценки рудоносности новых площадей и промышленного значения расположенных на них объектов в составе экспедиции № 27 была создана разведочная партия, которая с 1985 г. реорганизована в экспедицию № 7 (В. Г. Язиков, А. А. Абакумов, С. А. Шепелев).

В юго-западной части Чу-Сарысуysкой депрессии, прилегающей к горам Каратау, с начала 70-х гг. поисковые работы проводит еще одна партия (с 1979 г. экспедиция) Волковского предприятия — № 5 (Х. Б. Аубакиров, В. Н. Григорьев, В. Т. Беляев, А. Е. Кулак). Ураноносность палеогеновых отложений этого района была установлена еще в 1961—1962 гг. Постановку новых поисковых работ ускорило выявление в 1971 г. Южно-Казахстанской гидрогеологической экспедицией рудопроявления Песчаного. Уже в 1972 г. партией № 5 было выявлено Канжуганское урановое месторождение, оказавшееся впоследствии южным флангом более крупного Моинкумского месторождения с оруденением, локализованным в трех палеоценово-эоценовых горизонтах. С 1988 г. месторождение Канжуган эксплуатируется.

В результате проведенных работ Чу-Сарысуysкая депрессия к концу 70-х гг. оформилась в качестве крупнейшей урановорудной провинции, представляющей собой долговременную минерально-сырьевую базу для добычи урана способом подземного выщелачивания. В связи с этим целесообразно отметить, что открытие уникальных месторождений Чу-Сарысуysкой и Сырдарьинской рудных провинций стало возможным лишь благодаря разработке и оперативному внедрению в практику концепции региональных рудогенерирующих фронтов пластового окисления. Эта концепция

разрабатывалась в Волковском (Н. Н. Петров) и Краснохолмском (Б. И. Натальченко и Р. И. Гольдштейн) предприятиях и исходит из представлений о длительном, поэтапном формировании рудоконтролирующих ЗПО, образовавшихся в основном в позднеалго-ценово-миоценовый период неотектонического этапа, т. е. до формирования позднейших орогенных поднятий (таких, как Каратауский горст-антиклинорий). В результате всестороннего анализа фактического материала были установлены наиболее вероятные направления рудоконтролирующих фронтов ЗПО, и основные объемы поискового бурения были перемещены от прибортовых частей депрессионных структур («высоких крыльев» артезианских бассейнов) в их осевые зоны, что привело геологов к выдающимся открытиям.

В открытии, разведке и изучении месторождений Чу-Сарысуйской депрессии, оформлении последней в качестве крупнейшей урановорудной провинции участвовала большая группа специалистов предприятия «Волковгеология» под общим руководством И. Д. Рогозина, М. Я. Дары, Е. П. Бабкина, А. А. Татарникова. Значительный вклад в эту работу внесли также специалисты научно-исследовательских институтов Г. В. Грушевой, Г. М. Шор, А. М. Афанасьев, Н. М. Радюкевич, А. В. Сумароков, А. В. Шахвердов, И. С. Оношко, Л. Г. Русинова (ВСЕГЕИ), Е. М. Шмарисович и М. Ф. Максимова (ВИМС), А. К. Лисицын и О. И. Зеленова (ИГЕМ), В. В. Воробьев, О. Е. Гордиенко, В. И. Кочетков (ВНИИХТ), Б. М. Колесов, И. И. Ганичев, И. М. Хайкович, П. И. Кириллов (НПО «Рудгеофизика»), М. И. Мелентьев (Каз-ИМС).

В 70-е гг. специализированные геологоразведочные работы в Сырдарьинской депрессии продолжало предприятие «Краснохолмскгеология», причем основной акцент был сделан на выявление промышленного оруденения в верхнемеловых образованиях. В районе Карамурунского выступа хр. Большой Каратау партией № 23 были открыты месторождения Северный и Южный Карамурун и Ирколь, доказана рудоносность южного продолжения региональных фронтов пластового окисления. Месторождение Северный Карамурун в 1986 г. вовлечено в разработку. В районе поднятия Каратау аналогичные работы проводила партия № 81, открывшая здесь месторождения Заречное (1977 г.), Асарчик (1983 г.), Жауткан (1984 г.).

Сырдарьинская депрессия также оформилась в виде крупной урановорудной провинции, создание которой в 70—80-е гг. связано с именами многих специалистов Краснохолмского предприятия: Б. И. Натальченко, Р. И. Гольдштейна, Н. Н. Муромцева, К. Г. Борова, Г. В. Тараборина, Т. Я. Деминой, В. Л. Шитова, Э. Ф. Уварина, О. Н. Крылова, В. А. Загоскина, Е. А. Эммануилова, В. В. Казаринова, Г. В. Перевозчикова, И. В. Венатовского, В. А. Пантеле-

Большая помощь в оформлении Сырдарьинской УРП производственным коллективам оказана со стороны упомянутых выше научно-исследовательских институтов.

Поисково-разведочные работы на уран в течение третьего периода предприятие «Волковгеология» продолжало и в мезозойско-кайнозойских депрессионных структурах Юго-Восточного Казахстана.

Закончилась разведка Кольдзатского ураноугольного месторождения, переведенного в крупный полнкомпонентный объект, где наряду с энергетическими бурами углями промышленное значение могут иметь значительные запасы урана, молибдена и ряда других попутных элементов, сосредоточенные в «технологических» углях и пластах песчанников.

В низовьях р. Или партией № 37 Волковской экспедиции (В. Г. Белозеров) в нижне-среднеюрских отложениях был открыт новый крупный буроугольный бассейн со значительными запасами урана, с попутными полезными компонентами (рений, молибден, германий, серебро и др.). Нижнеилийское месторождение представляет собой топливно-энергетический резерв, который может быть освоен промышленностью в будущем. Названные ураноугольные месторождения составили часть выделенной в Юго-Восточном Казахстане и в соседнем Китае Илийской урановорудной провинции.

Помимо ураноугольных месторождений в северной прибортовой части Илийской впадины партией № 11 Волковского предприятия (В. Е. Галочкин, В. Г. Язников, В. М. Черняков) в 1987 г. было выявлено Сулукчинское пластово-инфильтрационное месторождение песчанникового типа. Как и ураноугольные месторождения, оно находится в составе резервного фонда.

Нельзя не отметить ту положительную роль в создании урановой сырьевой базы Казахстана, которую на всех этапах сыграли в направлении и материальном обеспечении работ руководители Первого главного геологоразведочного управления (объединения «Союзгеологоразведка») Мингео СССР В. П. Кузьменко, Н. Ф. Карпов, А. Л. Лапин, В. Е. Гриб, М. В. Шумилин, А. В. Комонов, Ю. В. Хромов и другие.

Таким образом, в третий период геологоразведочных работ на уран в Казахстане оформились две новые крупные экзогенные урановорудные провинции с пластово-инфильтрационным типом оруденения (Чу-Сарысуйская и Сырдарьинская) и одна провинция, в которой ведущим типом являются ураноугольные месторождения (Илийская). Важнейшим промышленным типом стали пластово-инфильтрационные месторождения, эксплуатируемые способом подземного выщелачивания.

В Северо-Казахстанской провинции с гидротермальным типом оруденения происходило наращивание и восполнение отрабатываемых Целинным горно-химическим комбинатом запасов за счет

открытия новых рудных объектов, в том числе крупнейшего в этом регионе Косачиного месторождения. В Центральном и Южном Казахстане также были выявлены новые, хотя и незначительные по масштабам месторождения — Даба, Костобе и другие, которые позволили выявленные ранее рудные поля и узлы объединить в Кендыктас-Чу-Или-Бетпак-Далинскую урановорудную провинцию.

В 1991 г. в суверенной Республике Казахстан начался новый этап работ, связанных с развитием урановой сырьевой базы. Ранее созданные специализированные геологоразведочные союзные объединения были преобразованы в предприятия «Волковгеология» и «Степгеология», подчиненные Министерству геологии и охраны недр Республики Казахстан. Экспедиция № 23, принадлежавшая ранее объединению «Краснохолмскгеология», передана в подчинение предприятию «Волковгеология». Все горнодобывающие предприятия урановой отрасли, работающие в Казахстане, стали его принадлежностью. В целом произошло сокращение работ на уран с конверсией предприятий, которые в определенной степени были переориентированы на выявление и добычу других видов полезных ископаемых.

УРАНОНОСНОСТЬ ДОМЕЗОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ КАЗАХСТАНА

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЧЕРТЫ МЕТАЛЛОГЕНИИ ДОМЕЗОЗОЙСКИХ СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Важнейшие черты металлогении урана в Казахстане определяются особенностями развития Урало-Монгольского подвижного пояса.

Современная тектоническая структура Казахстанско-Среднеазиатского региона и его положение в трансматериковых геологических структурах выражаются как суммарный результат ряда крупных глобальных этапов необратимо направленного развития планеты. По существующим представлениям [17, 18, 23, 27, 29], история развития Урало-Монгольского пояса подразделяется на два периода — позднепротерозойский и палеозойский, либо с включением раннемезозойского этапа [17], либо с выделением последнего в качестве самостоятельного дейтероорогенного периода развития [5]. Затем, с поздней юры — раннего мела, наступил платформенный этап развития, в результате которого сформировалась трансматериковая Центрально-Евразийская молодая платформа [7]. Наконец, последний, продолжающийся и ныне неотектонический этап геологической истории большинством исследователей связывается с тектоническими движениями, начало которых для большей части Казахстана относится к позднему олигоцену — раннему миоцену. В неотектонический этап сложился современный структурный облик рассматриваемого региона.

В последние годы в связи с изучением глубинного строения территории признание получила следующая принципиальная схема расчленения земной коры региона [12]: 1) в нижней ее части выделяется неоднородный по составу и физическим свойствам гранитно-метаморфический слой (ГМС); 2) выше залегает не повсеместно развитый осадочный слой, разделяющийся на структурно-формационные комплексы (СФК) литифицированных средне-поздне-палеозойских отложений наложенных впадин и на СФК слаболитифицированных мезозойско-кайнозойских отложений унаследованных и наложенных депрессионных структур.

Далее кратко излагаются лишь те основные черты домезозойских подразделений земной коры, которые прямо или косвенно определяют ураноносность Казахстана.

Гранитно-метаморфический слой (ГМС). Подавляющая часть

урановых месторождений, приуроченных к домезозойским образованиям, связана со структурно-формационными комплексами ГМС.

Большинство существующих схем геотектонического районирования региона (Н. Г. Ляпичев, В. Ф. Беспалов, Е. Д. Шлыгин, Е. Д. Карпова, Н. А. Афоничев, В. Е. Кнауф и др.) основываются на выделении нескольких крупных разновозрастных складчатых областей, или систем. Центральное положение занимает мозаичная Казахстанско-Северо-Тянь-Шаньская область, заключенная между Урало-Южно-Тянь-Шаньской и Зайсанско-Монгольской геосинклинально-складчатыми системами. Она состоит из ряда линейных и дугообразных эвгеосинклинальных прогибов (каледонские Калмыкколь-Улытауский, Джалаир-Найманский, Успенский, Ерментауский и др., герцинские Валериановский, Токрауский и др.), между которыми расположены Кокшетауский, Моинкумский, Атасу-Джунгарский и другие срединные массивы. В Казахстанско-Северо-Тянь-Шаньской области чрезвычайно широко распространены разнообразные эпигеосинклинальные и активизационные СФК.

Металлогения урана и рудоносность Казахстана в значительной мере определяются широким развитием геохимически специализированных на уран формаций, подавляющая часть которых принадлежит ГМС. А. А. Смыслов и др. [12, 45] выделяют две группы специализированных на уран комплексов пород.

Первая группа связана с областями интенсивной литофильной дифференциации вещества земной коры и обусловлена длительно развивающимися процессами гранитизации и полихронного магматизма. Вторая группа формировалась в обстановках геосинклинального режима в краевых зонах срединных массивов и геоантиклинальных поднятий.

Наиболее древние специализированные комплексы и блоки пород первой группы представлены допалеозойскими гнейсами и некоторыми видами кристаллических сланцев с повышенными содержаниями урана (3,2—7,2 г/т). Еще выше концентрации урана в отдельных типах гранито-гнейсов Кокшетауского, Атасу-Моинтинского, Джунгарского блоков. К среднему и позднему палеозою приурочены две важнейшие по урану эпохи формирования интрузивно-вулканогенных формаций, связанных с периодами орогенного (сводо-глыбового по Е. Д. Карповой) развития подвижного пояса: девонская и позднекаменноугольно-пермо-триасовая. Максимальные первичные концентрации легко извлекаемого урана (до 10—70 г/т) установлены в лейкократовых гранитах Атасу-Моинтинского, Иссык-Кульского и некоторых других блоков. К этим же эпохам относится и накопление специализированных на уран вулканогенных комплексов липаритовых формаций, связанных с тремя протяженными интрузивно-вулканическими поясами: девонским Центрально-Казахстанским и средне-позднепалеозойскими Джунгаро-Балхашским и Бельтау-Кураминским.

По существу, все специализированные на уран формации сво-

дово-глыбового режима развития характеризуются повышенными содержаниями редких и рассеянных элементов: Be, Sn, Mo, Y, Yb, Nb, Ta, Zr.

Вторая группа специализированных на уран образований представлена углеродистыми «черными сланцами», входящими в группу формаций (терригенно-кремнистая, углеродисто-кремнисто-сланцевая, карбонатно-сланцевая), обычно развитых в раннепалеозойских структурах антиклинорного типа. Помимо урана, достигающего уровня 0,01—0,02%, они характеризуются повышенными концентрациями V, Mo, Ag, Au, As, а также Pb, Zn, Cu, Re, Sc, Se. Высокие (до 25 г/т), но трудно извлекаемые (основной минерал — франколит) концентрации урана установлены в пластовых фосфоритах Малого Каратау.

Литифицированная часть осадочного слоя. Слагающие слой средне-позднепалеозойские образования большинством исследователей рассматриваются как своеобразные субплатформенные комплексы отложений, характеризующихся специфическими условиями осадконакопления, которые обусловили их повышенную по сравнению с типичными платформенными формациями мощность, а также ряд физических свойств, приближающих их к геосинклинальным отложениям.

Средне-позднепалеозойские осадочные комплексы выполняют ряд крупных депрессионных структур, прослеживающихся в плане в западной части региона в виде двух разобщенных дуг. Впадины внешней дуги располагаются в Торгайском прогибе, Нижнесырдарьинском поднятии. Сырдарьинской впадине и далее фрагментарно прослеживаются в Чаткало-Кураминском районе и Срединном Тянь-Шане. Осадконакопление в них завершилось в конце раннего карбона. Внутренняя дуга структур охватывает Тенизско-Чу-Сарысуйскую и Северо-Киргизскую группы впадин, для которых характерны наиболее полные разрезы средне-позднепалеозойских осадочных образований.

В составе литифицированной части осадочного слоя значительное место принадлежит среднепалеозойским образованиям красноватой молассоидной формации D_{2-3} , сероцветной угленосной терригенной формации $C_{1t2}-v_3$, терригенно-гипсоносно-соленосной формации фамена, а также следующим формациям позднепалеозойского возраста: пестроцветной терригенной ($C_{2-3}-P_1$) и терригенно-гипсоносно-соленосной (P_1). Чрезвычайно широко развита группа сероцветных карбонатных и карбонатно-терригенных формаций (D_3-C_{1n} , P_{1-2}).

А. А. Смыслов и др. [12] выделяют две геохимические области распространения средне-позднепалеозойских осадочных образований. Первая, Каратау-Аксуатская область объединяет образования впадин Каратау и Торгая (внешняя дуга) и характеризуется надкларковыми содержаниями U, Pb, Zn в отложениях терригенно-карбонатной формации D_3-C_1 . Вторая область, Тенизско-Чуй-

ская, представлена отложениями, выполняющими Тенизскую, Жезказганскую и Чуйскую впадины. Ее западная часть выделяется в качестве меденосной, а восточная имеет отчетливую специализацию на Pb и Zn.

Максимальные надкларковые содержания урана свойственны образованиям, приуроченным, как правило, к основанию осадочных циклов. При этом красноцветные отложения континентальных терригенных формаций фамена и фамена — раннего карбона в Чу-Сарысуйской депрессии характеризуются неоднородными, в целом невысокими концентрациями урана, иногда до 5—10 г/т, тогда как в сероцветных породах они более высокие (в среднем до 6,9 г/т, максимум до 10—30 г/т) и более однородные: например, фаменская уйтасская свита Сарысу-Тенизского водораздела, специализированная не только на уран, но и на Pb, Mo, Zn, V, Cu. Вместе с тем морским отложениям фамена и раннего карбона свойственны равномерно низкие концентрации урана (1,4—2,3 г/т).

Подытоживая краткую общую металлогеническую и геохимическую характеристику домезозойских формаций, отметим их основные особенности, которые не только определяли ураноносность на специфику геологического и металлогенического планов развития мезозойско-кайнозойского чехла:

1. Геотектоническая и металлогеническая модель Казахстанского региона характеризуется существенной неоднородностью строения литосферы, причем определяющая доля в объеме земной коры принадлежит гранитно-метаморфическому слою. В составе ГМС значительную роль играют формации, геохимически специализированные на уран и другие элементы.

2. Установлено, что формации с относительно повышенными ($\geq 3,5$ г/т) и более высокими концентрациями урана распространены в составе структурно-формационных комплексов ГМС, сложенных в области Казахского сводового поднятия, Чу-Илийского и Кендыктасского антиклинориев, а также Тянь-Шаньского орогена. Достаточно широко они проявлены и в Джунгарии. Именно в этих районах А. А. Смыслов, М. Г. Харламов, М. Я. Дара выделили ряд геохимических провинций, с которыми совмещаются известные в Казахстане урановорудные провинции и районы с эндогенным оруденением. К ним относятся Северо-Казахстанская и Кендыктас-Чу-Или-Бетпак-Далинская урановорудные провинции, а также отдельные урановорудные районы и узлы (рис. 1).

3. На большей части региона формации ГМС выходят на домезозойскую эрозионную поверхность, а в обрамлении большинства мезозойско-кайнозойских депрессионных структур, с которыми связаны экзогенные урановорудные провинции и районы, — непосредственно на дневную поверхность, представляя собой благоприятные области сноса обломочного материала при осадконакоплении в этих структурах, а на этапах тектонической активизации — гидрогеоло-

гические области питания и выноса урана в мезозойско-кайнозойские водоносные горизонты, контролировавшие процессы экзогенного эпигенетического рудообразования.

4. В составе литифицированной части осадочного слоя специализированные на уран формации занимают в отличие от ГМС незначительное место. При этом они, как правило, слагают субстрат мезозойско-кайнозойских впадин и, следовательно, не могут служить сколько-нибудь существенным источником урана для рудовмещающих мел-палеогеновых и других горизонтов чехла. Вместе с тем поля распространения субплатформенных средне-позднепалеозойских отложений во многом предопределили развитие последующих их мезозойско-кайнозойских депрессионных структур, вмещающих ураноносные плитные комплексы.

5. Домезозойские комплексы Зайсанской геосинклинальной системы, которые характеризуются общим невысоким уровнем первичных концентраций урана и слабым развитием специализированных на уран формаций, отличаются практически отсутствием промышленных урановорудных объектов как в домезозойских образованиях, так и в отложениях мезозойско-кайнозойского чехла.

ВАЖНЕЙШИЕ УРАНОВОРУДНЫЕ РАЙОНЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Северо-Казахстанская урановорудная провинция*

Описываемая провинция расположена на северной окраине Казахского щита (см. рис. 1). Основными структурными элементами ее являются: 1) Кокшетауское, Заградовско-Шатское, Дмитриевское поднятия, сложенные в основном метаморфическими образованиями протерозоя и палеозойскими гранитоидами; 2) Джаркаинагацкий, Ешкеольмесский и Ерментауский антиклинории, где в ядрах антиклиналей выступают метаморфиты докембрия и венда, а на крыльях складок — вулканогенно-терригенные образования ордовика; 3) Марьевский, Стерлитамак-Шарыкский, Калмыккольский, Восточно-Кокшетауский и Селетинский прогибы, выполненные преимущественно вулканогенно-терригенными отложениями ордовика; 4) Тенизская впадина, вмещающая субплатформенные терригенные отложения карбона и перми.

Для пород Северного Казахстана характерен достаточно высокий фон урана и тория с отношением U:Th, близким к 1:4.

В провинции выделяется несколько урановорудных узлов.

Ишимский рудный узел объединяет месторождения Ишимское, Камышовое, Шокпакское и ряд рудопроявлений. Этому

* Описание приводится по данным С. С. Наумова, Г. П. Полуаршинова, Ю. А. Бастрикова, А. Ф. Киселева, И. Г. Мельникова, В. И. Пигульского, К. Т. Савельева, Т. К. Янбухтина [51].

узелу свойственна приуроченность месторождений к бортовым частям депрессии, сложенной красноцветными молассоидами (Ишимская и Шокпакская грабен-мульды), к узлам пересечения крупных разломов северо-восточного и близширотного направлений. Руды связаны с формацией ураноносных березитов на Ишимском ураномолибденовом месторождении и эйситов альбит-карбонатной формации на Камышовом месторождении.

Чистопольский рудный узел объединяет месторождения Молодежное, Дубровское, Викторовское, Акканбурлукское и группу рудопроявлений. Ему свойственны разнообразие геологоструктурных обстановок, принадлежность оруденения к двум гидротермально-метасоматическим формациям — эйситов и березитов.

Балкашинский рудный узел включает группу различных по величине месторождений (Балкашинское, Восток, Звездное, Тушинское, Дергачевское) и приурочен к зоне краевых разломов, разделяющих Кокшетауское поднятие и Калмыккольский синклиорий. Рудные тела локализуются как в терригенных отложениях ордовика (Восток, Дергачевское, Звездное), так и в вулканитах девона (Балкашинское). Руды ураномолибденовые, принадлежат к урановорудной гидротермально-метасоматической формации березитов.

Грачевский рудный узел объединяет наиболее крупные в Северном Казахстане месторождения Грачевское и Косачинское и ряд мелких месторождений и рудопроявлений.

Грачевское месторождение локализуется в северной части Саумалкольской синклинали, прорванной аляскитовыми гранитами Легаевского среднедевонского массива. Рудные тела в основном размещаются в катаклазированных гранит-порфирах, гранит-аплинтах, песчаниках и алевролитах венда и нижнего кембрия, частично в легаевских гранитах. Руды комплексные, уранофосфорные (коффинит, браннерит, настуран, апатит).

Косачинское месторождение расположено в центральной части синклинали и контролируется преимущественно крутопадающей тектонической зоной, а также нарушениями других направлений. Оруденение монометалльное, подверглось интенсивным процессам мезозойского корообразования. Генетически руды Грачевского узла принадлежат формации эйситов.

Алтыбайский рудный узел (урановые месторождения Чаглинское, Абайское, Славянское, ряд рудопроявлений) помимо урановых объектов включает крупное золоторудное Васильковское месторождение. Он расположен в Алтыбайском блоке Кокшетауского поднятия, на сочленении с Азатским прогибом, нарушенным Кокшетауской зоной разломов. Оруденение Славянского месторождения размещается в протерозойских гранито-гнейсах и кристаллических сланцах, на Чаглинском месторождении рудовмещающими являются рифейские, вендские и ордовикские толщи, на Абайском — терригенные средне-верхнедевонские пестроцветные

отложения. Структурная позиция месторождений разнообразная. Оруденение связано с березитами и эйситами.

Коксенгирский рудный узел, объединяющий месторождения Коксорское, Заозерное, Тастыкольское, Межозерное и другие, приурочен к западному борту Коксенгирской мульды, на пересечении северо-западных тектонических зон с близмеридиональными. Руды месторождений комплексные уранофосфорные, со значительной примесью циркония и тория, распространены по всему разрезу — от среднего ордовика (фундамент мульды) до красноцветных молассоидов среднего-верхнего девона. Оруденение (апатит, аршиновит, реже настуран и браннерит) относится к уранофосфорной формации (альбит-апатитовой фации) в натриевых метасоматитах.

Шатский рудный узел (месторождения Глубинное, Шатское, Агашское) расположен в Карашатском девонском вулканическом прогибе, в зоне сочленения докембрийского Шатского поднятия с каледонским Восточно-Кокшетауским вулканогенным прогибом. Месторождения локализуются в зоне Шатского разлома. Промышленное ураномолибденовое оруденение связано с альбит-карбонатной фацией эйситов. Содержит значительную примесь циркония (аршиновит).

Маньбайский рудный узел, объединяющий месторождения Маньбай, Аксу, Кербайское, Южно-Маньбайское, Круглое, приурочен к сочленению Восточно-Кокшетауского прогиба и Ешкеольмесского поднятия. Наиболее значительные месторождения — Маньбай и Аксу — размещаются в тектонических клиньях среди кембро-ордовикских вулканогенных и осадочных образований, прорванных интрузивными породами. Руды в основном связаны с альбит-карбонатной фацией эйситов. Среди них выделяются фосфор-цирконий-урановые (апатит-аршиновитовая и хлорит-браннерит-коффинитовая ассоциации), молибденоурановые (молибденит-коффинит-настурановая ассоциация), реже собственно урановые.

Кроме отмеченных выделено также несколько потенциально рудоносных узлов с мелкими месторождениями и рудопроявлениями: Кубасадырский, Арчалинский, Новоникольский, Акжарский, Октябрьский.

Отметим некоторые общие особенности Северо-Казахстанской урановорудной провинции:

1) Практически все промышленные месторождения урана связаны с палеозойскими этапами орогенеза и активизации. Радиологический возраст основной массы гидротермального оруденения Северного Казахстана оценивается в 350—370 млн лет. Выделяется несколько этапов перераспределения оруденения: в позднем триасе (180—190 млн лет), в мел-палеогеновое время (50—60 млн лет) и неотектонический период (меньше 30 млн лет).

2) Оруденение преимущественно находится в ассоциации с метасоматическими формациями березитов и эйситов, которые рассматриваются в качестве членов единого гидротермально-метасоматического ряда.

3) Связь оруденения с какими-либо определенными магматическими комплексами, по мнению большинства авторов (Ю. А. Бастриков, А. Ф. Киселев, С. С. Наумов, В. И. Пигульский), отсутствует.

4) Роль литологических факторов локализации оруденения оценивается неоднозначно и, как правило, считается, что она ограничивается уровнем локализации отдельных рудных тел, но не месторождения в целом.

5) К бесспорным факторам локализации уранового оруденения на всех уровнях относится его связь с разрывными дислокациями. Ряд разведанных месторождений Северо-Казахстанской провинции оценены как крупные — Маныбайское, Косачинное, Грачевское, Заозерное, Викторовское, Камышовое, Семизбай, другие относительно небольшие — Балкашинское, Тастыкольское, Агашское, Глубинное, Восток, Коксорское и другие. Месторождения Ишимское, Балкашинское и Маныбайское отработаны.

Кендыктас-Чу-Или-Бетпак-Далинская урановорудная провинция *

Рассматриваемая провинция выделена М. Я. Дарой в одноименной складчато-блоковой геотектонической зоне, представляющей собой систему длительно развивающихся сводово-интрузивных поднятий, современные очертания которых определяются зонами краевых альпийских разломов. Последними указанная зона отделяется от расположенных соответственно на востоке и западе Чу-Сарысуйской и Балхашской мезозойско-кайнозойских впадин (см. рис. 1). Эта провинция — вторая по значимости в Казахстане урановая сырьевая база в домезозойских образованиях, хотя и не столь значительная, как Северо-Казахстанская, но сыгравшая в свое время важную роль в атомной энергетике. Она создана и оформлена усилиями геологических коллективов предприятий «Волковгеология» и отчасти «Южказгеология» (центральная и южная части территории) и предприятия «Степгеология» — в северной части провинции. В работах широко участвовали также коллективы союзных и республиканских научно-исследовательских институтов. Отработка месторождений проводилась Киргизским горнорудным комбинатом (ныне ПО «Южполиметалл»).

В преддевонское время провинция являлась крупноблоковым сооружением, представленным вытянутыми на северо-запад массивами и разделяющими их троговыми зонами, выполненными гео-

синклинальными и орогенными формациями венда — нижнего палеозоя.

Важнейшая особенность данной провинции — ее приуроченность к мощному девонскому вулканическому поясу, сложенному широко распространенными кислыми эффузивами и пирокластами с многочисленными жерловыми и субвулканическими телами (за исключением Кендыктасского блока). В конце позднего девона — начале карбона сформировался крупнейший ореол гранитоидов, выраженный серией плутонов лейкократовых гранитов — Джельтауского, Джусандалинского и других. Более ранние интрузивные образования представлены локально проявленными телами гранитоидов и сиенит-диоритов, а более поздние — аляскитами.

В провинции выделены Моинкумская (Кендыктасская) и Чу-Илийская структурно-металлогенические зоны (СМЗ).

Чу-Илийская СМЗ характеризуется золото-молибден-урановой рудно-геохимической специализацией. В ее пределах выделяется несколько рудных районов: Центральная-Чу-Илийский, Бетпак-Далинский, Джалаир-Найманский, Бурунтауский, Анархайский. Промышленные урановые месторождения приурочены главным образом к вулканотектоническим депрессиям (ВТД), реже к породам их фундамента.

В Центрально-Чу-Илийском рудном районе отмечаются три обособленных орогенных прогиба — Байгаринский, Карасайский и Кызылсорский. Промышленные месторождения урана — Кызылсай и Ботабурум — тяготеют к Карасайскому прогибу, в котором проявлены Кызылсайский, Ботабурумский и Байтальский рудные узлы.

Кызылсайский урановорудный узел (месторождение Кызылсай) представлен серией рудных участков в Кызылсайской и Южно-Джельтауской ВТД. В Кызылсайской ВТД, сложенной эффузивами коктауской, карасайской и княхтинской свит, рудоконтролирующими являются тектонические зоны субширотного простираения на сочленении с северо-восточными разломами и зонами трещиноватости. Рудные залежи приурочены к субвулканическим телам фельзит-порфиров, к трещинным зонам и пронизаемым горизонтально в покровах кислых эффузивов, к крупному вулканическому аппарату, сложенному липаритовыми порфирами. Для восточного фланга (краевая часть Кызылсайской ВТД) характерны трубообразные, пологие линзо-, гнездообразные и штокверковые рудные тела. Образование ураномолибденовых руд происходило в несколько стадий, которым предшествовали процессы альбитизации, и сопровождалось ореолом изменений березитового ряда.

Ботабурумский рудный узел (месторождение Ботабурум) связан с одноименной ВТД, расположенной на сочленении северо-западной Сарытумской зоны глубинных разломов с Джусандалинским гранитным массивом. Месторождение локализуется в вулканическом аппарате, сложенном липаритами и туфобрекчия-

* При составлении краткой характеристики провинции использованы материалы М. Я. Дары, Н. Я. Бабкина, Б. В. Бродина, В. Л. Гончарова, В. М. Константинова, А. Н. Матвиевко, И. К. Тыркина [52].

ми. Оруденение контролируется Контактным разломом, проявленным вдоль северо-восточного контакта песчаников карасайской свиты с рудовмещающим субинтрузивным телом фельзит-порфиров, а также зоной глубинного субмеридионального разлома. Молибденоурановые рудные тела представлены сложными штокверками и линзовидными формами. В дорудный этап образовались биотит, турмалин, серицит. Рудный этап разделяется на две стадии: собственно рудную, когда сформировалось сульфидно-настурановое оруденение, и пострудную, выраженную прожилками калыцита, иногда с флюоритом.

Байтальский рудный узел представлен одноименным существенно молибденовым месторождением. Расположен он на сочленении юго-западной ветви Сарытумской зоны разлома с субмеридиональным Железнодорожным разломом и нарушениями северо-восточного Кварцевого разлома. Молибденовое оруденение (фемолит, молибденит) приурочено в основном к субпластовым экстррузивам липарито-дацитов. Урановое оруденение проявлено спорадически, в виде мелких гнезд в западной части месторождения.

Джусандалинское месторождение специфично по условиям рудолокализации. По данным В. М. Константинова и Б. В. Бродина, оно связано с восточной эндоконтактной частью Джусандалинского гранитного массива, где основные рудные залежи контролируются зонами дробления и трещиноватости северо-восточного направления на участках их сопряжения (или пересечения) с разрывными нарушениями восточно-северо-восточного простирания и дайками диоритовых порфиров. Урановорудные зоны подвергнуты интенсивному дорудному кварц-карбонат-альбитовому метасоматозу. Руды монометалльные, настуран-коффиновые, малосульфидные тонкосетчатой, вкрапленной и мелкогнездовой текстуры. Обычные элементы-спутники молибденоуранового оруденения (Mo, Pb, Zn, As) на этом месторождении не образуют ореолов рассеяния вокруг собственно урановых руд.

В северной части провинции, в Бетпак-Далинском УРР, в крайней части Сасырлыкской депрессии находится отработанное ныне ураномолибденовое месторождение Джидели, тяготеющее к узлу пересечения западно-северо-западных разломов с северо-восточными разрывами. Оруденение залегает в горизонтах фельзитов нижнего девона, прорванных субвулканическими телами кислого и среднего состава. Рудные тела преимущественно линзо- и пластообразные, согласные с вмещающими фельзитами. Выделены три стадии минералообразования рудного этапа: предрудная кварц-пиритовая, рудная настуран-фемолитовая и пострудная карбонат-полиметаллическая. Дорудные метасоматиты представлены кварц-хлорит-апатитовой минерализацией.

Кроме того, в Бетпак-Далинском районе Чу-Илийской СФЗ выявлены мелкие урановые месторождения Даба (в фундаменте)

и Костобе (в породах выполнения ВТД). В Бурунтауском и Жалаир-Найманском рудных районах промышленные месторождения не известны.

В Анархайском рудном районе выявлено урановое месторождение Копалысай, уникальное для урановых объектов в ГМС по своим генетическим особенностям: оно относится к древнеэпигенетическим месторождениям зон пластового окисления (В. Г. Белозеров). Это месторождение сформировалось в суборогенных условиях межгорного прогиба. Оруденение локализуется в нижнем песчаниковом горизонте саламатской свиты нижнего силура. Большая часть рудных тел имеет форму роллов. Руды монометалльные урановые, представлены уранинитом, настураном, редко титанатами урана. Они образовались, скорее всего, в верхнем силуре, возможно, в нижнем—среднем девоне, в дальнейшем претерпели перекристаллизацию под влиянием контактового метаморфизма. Все установленные на месторождении тектонические нарушения являются пострудными. В среднедевонскую и среднекаменноугольную стадии тектонической активизации рудные залежи месторождения Копалысай были расчленены на отдельные блоки, перемещенные на различные расстояния и, по-видимому, в основном эродированные в последующие эпохи.

Моинкумская структурно-металлогеническая зона в целом характеризуется медно-урановой (с полиметаллами и золотом) специализацией. В расположенном в ее южной части Кендыктасском рудном районе известны месторождения Курдай и Колгуты.

Ныне отработанное месторождение Курдай — первенец среди гидротермальных месторождений Казахстана. Его рудное поле приурочено к северо-западному региональному Курдайскому разлому, с которым связана интенсивная милонитизация гранитоидов одноименного комплекса. В среднем палеозое, в начале этапа сводового развития, в зоне Курдайского разлома сформировались жерловые и субвулканические тела фельзит-порфиров, а в конце позднего палеозоя по субширотным швам внедрились трещинные интрузии граносенитов, гранодиоритов, даек основного и среднего состава. Рудная минерализация контролируется пересечением «Главной тектонической зоны» северо-западного простирания с субширотными нарушениями. Рудные тела представлены штокверками висячем и лежащем боках мощной дайки фельзит-порфиров. Выделяются три этапа минералообразования: в первый сформировались кварц-пиритовые жилы, ко второму, многостадийному, относится образование настуран-сульфидных руд, с третьим связано развитие кварц-карбонатных прожилков с флюоритом и гематитом.

Некоторые общие особенности Кендыктас-Чу-Или-Бетпак-Далинской провинции таковы:

1. Радиологический возраст оруденения преимущественно оценивается в 340—360 млн лет (конец девона — начало карбона).

Наиболее активные процессы регенерации предположительно имели место в позднем палеозое (250—270 млн лет) и позднее (70—90 млн лет).

2. Во всех случаях урановая минерализация, приуроченная к зонам березитизации и аргиллизации, наложена на метасоматиты ранних стадий: скарны с магнетитом, кварц-мусковитовые грейзы, кварц-серицитовые изменения с колчеданной минерализацией, золотом и молибденитом.

3. Урановой минерализации в Чу-Илийских горах предшествует альбитизация.

4. Урановые минералы (коффинит, настуран, реже уранинит и браннерит) отложились, по данным Б. В. Бродина, до молибденита; другие авторы отмечают их одновременное (по крайней мере, частично) образование.

5. Связь оруденения с конкретными этапами и типами магматизма проблематична, тогда как структурно-тектонический контроль проявлен более отчетливо.

В настоящее время в условиях сложившейся конъюнктуры уранового сырья, когда основной его базой стали служить крупные эпигенетические месторождения зон пластового окисления, локализованные в мел-палеогеновых отложениях, отработка многих гидротермальных урановых месторождений приостановлена и они переведены в резерв.

Глава 3 УРАНОНОСНОСТЬ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ФОРМАЦИЙ

ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Мезозойско-кайнозойские структурно-формационные комплексы (СФК) Казахстана размещаются в системах депрессионных структур, заложенных и сформированных в различные эпохи и в условиях разных тектонических режимов.

В настоящее время широко принято разделение казахстанского мезозойско-кайнозойского формационного разреза на три крупных СФК, или структурных яруса: нижний — триасово-юрский активизационный, средний — мел-палеогеновый платформенный, верхний — позднеолигоценово-четвертичный активизационный (неотектонический). Они отвечают трем этапам альпийской эпохи — ранне-, средне- и позднеальпийскому [10]. Это деление принято и в настоящей работе.

Размещение уранового оруденения в мезозойско-кайнозойских депрессионных структурах в значительной мере зависит от положения в геотектонических структурах региона, которые существовали в период заложения и развития структурно-тектонических комплексов.

Авторы разделяют представления тех исследователей, которые полагают, что в раннеальпийское время осадконакопление в Казахстанско-Среднеазиатском регионе происходило в нескольких разобренных структурно-формационных зонах (СФЗ), положение которых контролировалось главными линейными Центрально-Азиатского мезозойского орогенного пояса [5, 33]. В рассматриваемом регионе выделяются Убаган-Южно-Торгайская, Каратау-Северо-Тянь-Шаньская, Чу-Илийская, Чингиз-Зайсанская СФЗ.

В составе триасово-юрского СФК выделены четыре основные осадочные формации: пестроцветная молассондная конгломерат-песчанисто-алевролитовая ($T_2^2 - T_3^2$) и сероцветная молассондная угленосная ($T_3^2 - J_2^2$), образующие горизонтальный ряд с сероцветной молассовой песчанисто-конгломератовой формацией ($J_1^3 - J_2^3$), а также сероцветная терригенно-карбонатная (J_3^{1-2}). По названным формациям широко развивалась пестроцветная каолинитовая формация кор выветривания ($T_2^2 - J_3$). Кроме того, локально рас-

пространена магматогенная (базальтово-андезитовая) формация, известная в Северном Торгае под названием «туринская серия».

Одной из важнейших особенностей триасово-юрского СФК в регионе является прерывистость распространения его образований, приуроченных к системам впадин или к отдельным впадинам. Триасово-юрские отложения, как и домезозойские образования, среди которых они залегают, отделены от среднеальпийского покрова единой региональной поверхностью несогласия, отражающей продолжительность постюрского стратиграфического перерыва.

Развитие триасово-юрских СФЗ происходило не всегда синхронно и не везде в одинаковом тектоническом режиме, что нашло свое выражение в структурно-морфологических различиях раннеальпийских депрессий. Наиболее интенсивные орогенические движения проявились в Чингиз-Зайсанской, Южно-Торгайской зонах и в северной части Каратау-Северо-Тянь-Шаньской зоны в связи с древними системами северо-западных глубинных разломов. В этих условиях сформировались системы глубоких контрастных впадин, имеющих обычно вид асимметричных линейных грабенов с мощностью компенсационно заполняющих их отложений до 2,5 км и более (Леонтьевская, Мхатовская, Абаевская и др.).

Депрессии другого типа (Нижнеилийская, Джаркентская и др.) расположены преимущественно в Чу-Илийской СФЗ, а также в близширотной Тянь-Шаньской подзоне Каратау-Северо-Тянь-Шаньской зоны. Мощность триасово-юрских отложений в этих структурах обычно не превышает первые сотни метров, и только в Джаркентском прогибе она несколько больше 1000 м. Для них характерен сокращенный разрез отложений с выпадением его верхних частей. В отличие от первых, явно орогенных структур, структуры второго рода, вероятно, сформировались в условиях менее интенсивного суборогенного тектонического режима.

Выделение рассмотренных типов триасово-юрских структур имеет важное металлогеническое значение, поскольку только структуры второго типа благоприятны для формирования ураноугольных месторождений — ведущего рудноформационного типа для нижнего СФК в Юго-Восточном Казахстане.

Важнейшей особенностью триасово-юрских отложений, определяющей возможность формирования в них эпигенетического оруденения, является степень их литификации и метаморфизма углей. Сейчас практически доказано, что литификация пород происходила в юре в результате процессов катагенеза. При этом установлено, что максимальной литификации по существу с полной ликвидацией поровой проницаемости отложений, подвержены породы в орогенных СФК и соответствующих депрессионных структурах. Наиболее слабым катагенетическим изменениям с сохранением поровой проницаемости подверглись триасово-юрские отложения в структурах Чу-Илийской СФЗ, где размещаются крупнейшие

ураноугольные, а также песчаниковые месторождения. В этой же зоне угольные пласты представлены бурыми разновидностями, испытывавшими метаморфизм, как правило, слабой, редко средней стадии (марки Б₁₋₂, редко Б₃) в отличие от угольных месторождений других СФЗ, где распространены каменные угли, бесперспективные в отношении эпигенетического уранового оруденения.

Первичный литологический облик триасово-юрских отложений отражает условия их накопления в резко восстановительных средах. Одной из их особенностей является в целом низкий уровень первичных содержаний урана и других элементов, обладающих высокой миграционной способностью в окислительной среде.

Развитие плитных комплексов среднеальпийского СФК в Казахском регионе происходило преимущественно в трех крупных седиментационных бассейнах — Западно-Сибирском, Туранском и Джунгарском. Формирование платформенного чехла началось на севере и западе региона в конце поздней юры и далее развивалось с последовательным вовлечением в процессы погружения все новых площадей позднеюрской пенепленизированной страны.

В строении рудовмещающего среднего (мел-палеогенового) СФК ведущая роль принадлежит крупным платформенным депрессионным структурам — синеклизам, к которым относятся Прииртышская, Южно-Торгайская, Чу-Сарысузская, Сырдарьинская и другие впадины Туранской плиты. В Юго-Восточном Казахстане распространены впадины меньших размеров — Балхашская, Лепсинская, Алакольская, Зайсанская.

В раннемеловую эпоху процессы впадинообразования развивались по периферии гигантского мегаподнятия, объединявшего территорию современных Казахского щита и Тянь-Шаня. Формировались синеклизы Западно-Сибирской плиты, Торгайского прогиба, Туранской и Таримской плит, Джунгарская впадина. В раннем туроне в результате определенной дифференциации тектонических движений началось формирование Чу-Сарысузской синеклизы, а в позднем сеноне — палеоцене образовалась система впадин Балхашско-Зайсанской группы, расчленивших Казахстанско-Тянь-Шаньское мегаподнятия на два крупных платформенных массива: Казахский щит и палео-Тянь-Шань. В середине и конце эоцена зародились внутренние впадины Тянь-Шаньского и Джунгарского поднятий.

В платформенный этап в восточной части Туранской плиты в крупных платформенных синеклизах сформировались многослойные разрезы мел-палеогенового СФК, в которых выделяется несколько осадочно-эрозионных мегациклов, включающих до десяти макроциклов (горизонтов). Благодаря устойчивому развитию обрамления Чу-Сарысузской и Сырдарьинской впадин по типу платформенно-суборогенных поднятий в составе верхнемеловых (отчасти палеоценового) горизонтов в этих структурах чрезвычайно

широкое распространение получила континентальная пестроцветная глинисто-гравийно-песчаная формация с исключительно высокой региональной проницаемостью отложений. Резкое преобладание этих отложений в прибортовых частях впадин обусловило развитие последних по типу артезианских бассейнов с активным сквозным инфильтрационным режимом.

В составе мел-палеогеновых горизонтов широко распространены породы сероцветного геохимического типа с относительно повышенными первичными концентрациями урана и ряда сопутствующих элементов, что характеризует эти горизонты как благоприятную среду для эпигенетического рудообразования со значительными внутренними ресурсами рудного вещества.

При оценке экзогенной рудоносности мезозойско-кайнозойских депрессионных структур исключительно важную роль имеет их положение в региональной неотектонической зональности, сформировавшейся в позднеальпийский этап, или «этап новейшей тектоники» («неотектогенеза»). В этот этап образовался верхний — позднеолигоценно-четвертичный активизационный СФК, произошло становление и развитие Тянь-Шаньской орогенной системы, возникла геотектоническая орогенная зональность и оформился современный тектонический облик региона.

На крайнем юге, за пределами Казахстана, располагаются складчатые структуры Средиземноморского подвижного пояса, севернее которого расположена новейшая Памиро-Тянь-Шаньская орогенная область, которая разделяется на две части: область высокоамплитудного орогена и суборогенную область. Признаками орогена принято считать большие (>2000 м) суммарные амплитуды вертикальных перемещений, значительные (до 5000 м и более) мощности орогенных формаций и высокие значения мощности земной коры (до 50—60 км), а также повышенную сейсмичность и аномально высокий температурный режим [55]. Внешняя граница орогена проводится по наиболее напряженной градиентной зоне регионального гравитационного поля, охватывающей Приташкентский, Восточно-Чуйский, Алматинский глубокие предгорные прогибы.

К высокоамплитудному орогену с севера прилегает обширная область тектонически активизированной части молодой платформы, которая многими исследователями определяется как суборогенная — с умеренными амплитудами вертикальных перемещений (500—2000 м) и относительно небольшой мощностью новейших осадков (до 1000 м).

В неотектонический этап сформировался верхний ярус (СФК), основные особенности которого следующие:

1. В строении яруса решающая роль принадлежит красно- и палеоцветным формациям, соответствующим нескольким осадочно-эрозионным макроциклам, разделенным в разрезе региональными поверхностями стратиграфического и углового несогласия:

позднеолигоценной — «предбетпак-далинской», отвечающей стратиграфическому перерыву в 5—9 млн лет, ранне-среднемиоценовой — «предаральской», среднеплиоценовой — «предилийской» (стратиграфический перерыв в 2—2,5 млн лет).

2. Формирование верхнего СФК тесно связано с развитием Тянь-Шаньско-Алтайской орогенной области и происходило в два качественно различных периода: первый, суборогенный, продолжительный (от позднего олигоцена до позднего плиоцена), с умеренным уровнем тектонической активности, накоплением преимущественно красноцветных формаций, и второй, собственно орогенный, кратковременный (конец позднего плиоцена — четвертичное время), сопровождавшийся высокоамплитудными глыбовыми поднятиями и образованием высокогорных систем, а также накоплением в основном палеоцветных осадочных формаций.

3. Развитие мезозойско-кайнозойских депрессионных структур в первый период сопровождалось широким участием процессов выветривания в домезозойском обрамлении впадин и длительной химической проработкой пород чехла в условиях инфильтрационного режима артезианских бассейнов с образованием региональных зон грунтового и пластового окисления в меловых и палеогеновых отложениях. Второму периоду свойственны резкая интенсификация гидродинамики пластовых вод, усложнение, а иногда и перестройка структурно-гидрогеологического плана артезианских бассейнов.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ДЕПРЕССИОННЫХ СТРУКТУРАХ

Расположенный в аридной климатической зоне Казахстанский регион выделяется исключительно высокой насыщенностью территории экзогенными концентрациями урана и разнообразием их типов.

Месторождения и рудопроявления в депрессионных структурах размещаются в отложениях всех трех структурно-формационных комплексов слаболифитизированной части осадочного слоя. Наибольшими масштабами и промышленной значимостью характеризуются месторождения, локализованные в отложениях среднеальпийского СФК. Они представляют собой главную сырьевую базу для добычи урана методом подземного выщелачивания. Серьезный практический интерес вызывают также рудные объекты, приуроченные к угленосно-терригенным формациям нижнего, триасово-юрского структурного яруса. Оруденение в отложениях верхнего, новейшего, СФК в настоящее время самостоятельного промышленного значения не имеет.

В настоящей работе для экзогенного уранового оруденения Казахстана принята типизация, основанная на выделении ураново-

Таблица 1. Основные типы экзогенных урановорудных формаций в мезозойско-

Группа УРФ	Урановорудная формация, субформация	Рудная ассоциация	Рудовмещающий СФК, геологическая формация, стратиграфия рудовмещающих горизонтов
Эпигенетические УРФ, парагенетически не связанные с рудовмещающими геологическими формациями	Эпигенетическая, связанная с региональными ЗПО в терригенных горизонтах	U, U—Se, U—Re U—V	Среднеальпийский СФК, континентальная пестроцветная глинисто-гравийно-песчаная — $K_2t_1, K_2t_2—st, K_2km—Pg_1^1; Pg_1^2$; прибрежно-морская сероцветная песчано-глинистая — Pg_2^{1-2}, Pg_3^3
	Эпигенетическая грунтово-инфильтрационная, связанная с зонами грунтового и грунтово-пластового окисления в угольных, углисто-глинистых в песчаных пластах Субформация ураново-угольных месторождений	U, U—(Se) U—Mo (Se, Re, Ge, Ag)	Континентальная сероцветная песчано-глинистая Раннеальпийский СФК, континентальная сероцветная молассоидная угленосно-терригенная — $T_3^3—J_2^2$
УРФ, генетически или парагенетически связанные с рудовмещающими геологическими формациями	Экзодиагенетическая грунтово-инфильтрационная в песчано-глинистых, углисто-глинистых и лигнито-торфяниковых отложениях, нередко с наложенными процессами пластового окисления Синдидиагенетическая в песчано-глинистых, органогенно-глинистых отложениях Субформация месторождений, связанных с костным рыбным детритом в морских глинах		

кайнозойских депрессионных структурах Казахстана

Геологическая формация времени рудообразования	Тектонический режим времени рудообразования (в областях питания)	Рудогенерирующий процесс	Месторождения, рудопоявления (примеры)
Красноцветная гравийно-песчано-глинистая — $Pg_3^3—N_1^1$; пестроцветная соленосно-гипсоносно-известковистая песчано-глинистая — $N_1^2—N_2^1$; палево-пестроцветная валуно-галечная — $N_2^3—Q_1$ Красноцветная известковисто-гипсоносная глинистая	Суборогенный орогенный То же Суборогенный	Окислительные пластово-инфильтрационные Окислительные грунтовые и грунтово-пластовые	Мынкудак, Моинкум, С. Карамурун, Заречное, Кызылколь, Сулукчинское Кольджат, Нижнеилийское
Позднеальпийский и среднеальпийский СФК, континентальная пестроцветная песчано-глинистая лигнитоносная — $J_3—K_1, Pg_3^3—N_1^1$; $N_1^2—N_2^1; N_2^3—Q$ Континентальная пестроцветная известковистая песчано-глинистая — N_2^2-3 ; $N_1^2—N_1^1$ Среднеальпийский СФК, морская сероцветная глинистая — Pg_3	Суборогенный, орогенный Сводово-тафорогенный	Окислительный поздний диагенез (экзодиагенез) Диагенез	Семизбай, Барс, Лазаревское, Гранитное, Камышановское Ассинское, Кумузек, Кендерлы Меловое, Томак, Тайбагар, Садырын, Тасмурун-Ащисай

рудных формаций (УРФ*). При этом авторы исходили из известного принципа соответствия или генетической связи между рудными и определенными геологическими формациями. По отношению к эпигенетическим месторождениям урана понятие осадочной формации, соответствующей времени рудообразования, впервые обосновали Т. Н. Давыдова и Т. Н. Львова [55]. Что касается сингенетических урановых концентраций, то они генетически или парагенетически связаны с определенными стадиями образования рудовмещающих геологических формаций.

В Казахстане распространено оруденение четырех основных рудных формаций, которые относятся к двум группам (табл. 1).

ЭПИГЕНЕТИЧЕСКАЯ УРАНОВОРУДНАЯ ФОРМАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗОН ПЛАСТОВОГО ОКИСЛЕНИЯ

Данная формация, по существу, определяет металлогению мезозойско-кайнозойских депрессионных структур в Южном Казахстане. Относящиеся к ней месторождения составляют одну из крупнейших в мире минерально-сырьевых баз урана. Месторождения этой формации широко известны как «эпигенетические пластово-инфильтрационные». В 70-е гг. они стали именоваться как «гидрогенные» (не вполне удачный термин, введенный П. Я. Антроповым). В последние годы их все чаще выделяют как «месторождения зон пластового окисления» или «месторождения региональных зон пластового окисления».

Зоны пластового окисления (ЗПО) являются важнейшим рудоконтролирующим фактором месторождений рассматриваемой формации. Прямая связь этих месторождений с границами ЗПО впервые была установлена в Центральных Кызылкумах геологами Краснохолмской экспедиции В. М. Мазиным и Г. А. Печенкиным. В дальнейшем в результате специализированных работ, развернутых в крупных синеклизах Туранской плиты на территории Казахстана, было установлено, что урановые эпигенетические месторождения контролируются региональными фронтами ЗПО, простираясь на многие сотни километров. При этом важно подчеркнуть, что оруденение связано с региональными ЗПО не только пространственно, но и генетически, т. е. генерируется ими. Веским доказательством тому служит региональный характер развития уранового оруденения вдоль границ ЗПО. По ряду горизонтов ба-

* Понятие УРФ принято по Е. Д. Карповой, определяющей их как совокупность урановых месторождений промышленных и перспективных типов сходным рудоминеральным парагенезисом, объединяемых общностью: а) тектонического режима, в котором происходил процесс рудообразования; б) благоприятных региональных геологических или гидрогеологических обстановок; в) локальных рудоконтролирующих факторов; г) генетических условий рудообразования.

лансовые рудные залежи в Чу-Сарысуйской депрессии протягиваются на многие десятки километров.

К настоящему времени региональные фронты ЗПО в восточной части Туранской плиты прослежены на многие сотни километров (рис. 2). Долгое время они рассматривались в Чу-Сарысуйской и Сырдарьинской впадинах как развивающиеся самостоятельно. В дальнейшем было установлено, что региональные фронты ЗПО в этих депрессионных структурах представляют собой части общих систем фронтов, разорванных позднеорогенным поднятием Большой Каратау. Именно это обстоятельство послужило основанием для объединения Чу-Сарысуйской и Сырдарьинской провинций в единую Притянь-Шаньскую мегапровинцию. Принято считать, что в состав этой мегапровинции входит и расположенная в Узбекистане Центральная-Кызылкумская УРП. Однако, по мнению Н. Н. Петрова, эту провинцию следует выделять в качестве самостоятельной металлогенической единицы: разобщенная с двумя первыми провинциями пространственно, она контролируется прерывистой системой ЗПО, не связанной с фронтами окисления, определяющими рудодносность Чу-Сарысуйской и Сырдарьинской УРП, и характеризуется целым рядом свойственных только ей геологических, гидрогеологических, геохимических особенностей. Расположенную в восточной части Туранской плиты урановорудную мегапровинцию, объединяющую Чу-Сарысуйскую и Сырдарьинскую провинции, Н. Н. Петров ранее предложил именовать Восточно-Туранской.

Большинство фронтов ЗПО в различных горизонтах мела и палеогена в Восточно-Туранской мегапровинции откартировано к настоящему времени достаточно определенно. В целом они ориентированы в близмеридиональном направлении, образуя две разобщенные в плане системы: 1) относительно сближенных между собой фронтов ЗПО в горизонтах палеогена и 2) менее тесно увязывающихся друг с другом фронтов окисления в меловых отложениях (рис. 2). По нашему мнению, фрагментами системы фронтов ЗПО, развитого в палеогеновых отложениях, являются близширотные участки границ окисления, которые откартированы в горизонтах морского палеогена в северной части Ферганской впадины. Они контролируются группой небольших урановых месторождений Северо-Ферганского рудного района. Последний следует считать частью Восточно-Туранской мегапровинции, от которой он отделяется южными отрогами позднеорогенного Чаткало-Курамского поднятия.

В провинциях пластово-инфильтрационных месторождений системы рудоносных или ураноносных фронтов ЗПО, развитых в определенных литолого-стратиграфических комплексах (горизонтах), принято относить к урановорудным или ураноносным металлогеническим зонам, а отдельные зоны, входящие в эти системы, рассматриваются соответственно в качестве урановорудных (ураноносных) металлогенических подзон. Металлогенические зоны,

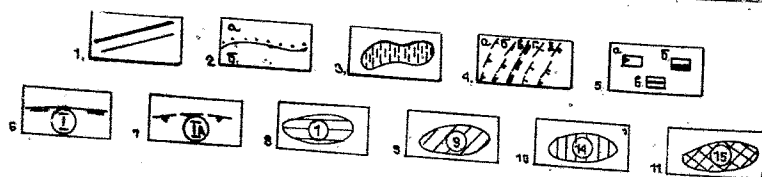


Рис. 2. Схема металлогенического районирования Восточно-Туранской мегапровинции: 1 — разрывные и разрывно-флексурные нарушения; 2 — границы между мезозойско-кайнозойскими (а) и домезозойскими (б) образованиями; 3 — триах и надгоризонтах: а — мынкудукском, б — инкудукском, в — жалпакском, г — уванасско-канжуганском, д — уюкско-иканском; 4 — границы региональных ЗПО в горизонтальных; 5 — урановые месторождения: а — пластово-инфильтрационные, б — ураноугольные, в — экзогенные; 6—11 — границы металлогенических подразделений (номера в кружках): 6 — Восточно-Туранской мегапровинции (1), 7 — урановорудных провинций (1а —

сформировавшиеся в пределах соседних УРП одной мегапровинции и контролируемые разновозрастными комплексами отложений, могут классифицироваться как металлогенические мегазоны. Именно такие мегазоны, разделенные новейшими горстовыми или купольными поднятиями, прослеживаются вдоль всей Восточно-Туранской урановорудной мегапровинции, где они контролируют урановорудные провинции, районы и поля.

На крайнем юго-востоке Казахстана в депрессионных структурах ближайшего обрамления Джунгарского орогена обозначился еще один фрагментарно выраженный рудоконтролирующий фронт окисления, связанный с реликтовыми участками неокисленных позднесенонско-раннепалеоценовых отложений. В связи с этим фронтом установлены рудные объекты Среднеазиатского рудного района.

Далее приводится характеристика рудоносности урановорудных провинций и районов.

Чу-Сарысу́йская урановорудная провинция

Данная провинция располагается в восточной краевой части Туранской плиты, в пределах Чу-Сарысу́йской мезозойско-кайнозойской депрессионной структуры (см. рис. 2). В настоящее время она представляет собой долговременную сырьевую базу для добычи урана способом подземного выщелачивания (ПВ).

Геологическое строение, гидрогеология и ураноносность провинции. Чу-Сарысу́йская депрессия — сложностроенная гетерогенная депрессионная структура, выполненная в основном верхнемеловыми и более молодыми мезозойско-кайнозойскими отложениями.

Домезозойские образования. В домезозойском субстрате депрессии выделяются гранитно-метаморфический слой (ГМС) и литифицированный комплекс средне-позднепалеозойских отложений.

Чу-Сарысу́йской, 16 — Сырдарьинской), 8 — урановорудных районов (1 — Мынкудукский, 2 — Жалпакский, 3 — Уванасский, 4 — Канжуганский, 5 — Карамурунский, 6 — Карактауский, 7 — Кызыл-Чайский, 8 — Северо-Ферганский); 9—11 — ураноносных районов и ураноносных полей: 9 — Приташкентский район с пластово-инфильтрационным оруденением, 10 — Северо-Сарысу́йский район с экзогенным оруденением, 11 — «Гранитное» ураноносное поле с оруденением в кайнозойских палеодолинах, 12 — Камышанское ураноносное поле с оруденением в торфяниках, 13, 14 — Кумузекский ураноносный район (13) и Ассиновское ураноносное поле (14) с оруденением синдиогенетической формации, 15 — Хантауский район с грунтово-инфильтрационным оруденением в терригенных юрских отложениях.

Номера месторождений на схеме: 1 — Уванас, 2 — Канжуган, 3 — Жалпак, 4 — Мынкудук с участком Акдала (4а), 5 — Моникум с участком Торткудук (5а), 6 — Шолак-Эспе, 7 — Карамурун Северный, 8 — Карамурун Южный, 9 — Ирколь, 10 — Заречное, 11 — Жауткан, 12 — Асарчик, 13 — Кызыл-Чай, 14 — Чаян, 15 — Лунное, 16 — Шакаптар, 17 — Майлисай, 18 — Нарын, 19 — Майлис, 20 — Нижнеилийское, 21 — Сарыкамыш, 22 — Туракавак, 23 — Курай, 24 — Инкай, 25 — Буденновское, 26 — Харасан

Данные о глубинном строении депрессии получены преимущественно в последние десятилетия в связи с изучением ее нефтегазоносности. Они обобщены в целом ряде сводных трудов таких исследователей, как Ф. Е. Сеницын, В. И. Дитмар, А. Я. Кунин, Г. П. Филиппов, А. А. Бакиров, А. Л. Колик, А. А. Певзнер, А. Б. Ли и др. В 1975 г. глубинное строение депрессии изучалось на основе глубинного сейсмозондирования в целях получения дополнительных критериев ее ураноносности (А. А. Смыслов, М. Г. Харламов, И. Д. Рогозин, М. Я. Дара, В. Х. Кашафутдинов, А. И. Кривцов, В. З. Фукс и др.). Указанными авторами составлены в масштабе 1:500 000—1:1 000 000 схемы геологического строения фундамента, литолого-фациальные и гидрогеохимические карты для различных комплексов литифицированного осадочного слоя.

Структура гранито-метаморфического слоя депрессии представляет собой две крупные антиклинорные системы — Улытау-Каратаускую и Тастинскую, которыми разделяются линейные синклинорные зоны близмеридионального и северо-западного направления. Общая мощность ГМС 14—20 км, глубина залегания от 300 м (в отдельных местах Тастинского поднятия) до 6 км (в Тесбулакской впадине).

Наиболее древними образованиями являются гнейсы и двуслюдяные сланцы PR (?), обнажающиеся в восточной части хр. Большой Каратау (гора Мынжилки) и на Улытауском поднятии и вскрытые скважинами на Тастинском поднятии под меловыми отложениями. Выделяется средне-позднепротерозойский вулканогенно-осадочный комплекс эвгеосинклинальных трогов (порфиroidы, филлиты, кварц-серпичитовые сланцы, мрамора и кварциты). Раннепалеозойский СФК представлен эвгео- и миеосинклинальными образованиями. Первые развиты вдоль Джалаир-Найманского и Кокшетауского разломов (порфириды, их пирокласты, песчаники, алевролиты, сланцы, прорванные телами базитов и ультрабазитов), вторые — на остальной части депрессии (терригенно-карбонатные толщи, доломиты с пластами фосфоритов, углеродисто-кремнистые сланцы).

В среднем ордовике произошла инверсия геотектонического режима, которая сопровождалась формированием крупных цитрузий гранит-гранодиоритовой и диорит-гранодиоритовой формаций. В раннем и среднем девоне восточная часть депрессии была охвачена процессами тектоно-магматической активизации, в результате которой в приразломных впадинах накопились образования липаритовой, липарит-дацитовой, андезитовой, вулканогенно-молассовой и молассовой формаций.

Главнейшие разломы, контролирующие строение ГМС, образуют северо-западную и близмеридиональную системы. Разломы других направлений возникли на этапах сводово-глыбовой перестройки района.

Среди формаций ГМС в ближайшем обрамлении депрессии наи-

более заметное место занимают специализированные на уран углеродистые («черные») сланцы хребтов Большой Каратау и Улытау [(8—10)·10⁻³ % урана] и пластовые фосфориты Малого Каратау (до 25·10⁻³ %). Как уже отмечалось, северо-восточное обрамление депрессии представляет собой часть Кендыктас-Чу-Или-Бетпак-Далинской урановорудной провинции (месторождения Курдай, Кызылсай, Ботабурум, Джидели, Даба).

Средне-позднепалеозойские формации литифицированной части осадочного слоя образуют так называемый промежуточный структурный этаж (ПСЭ), сформировавшийся в условиях, которые отличались как от типично платформенных (резкие перепады мощностей, фациальная изменчивость отложений, относительно высокая дислоцированность), так и от геосинклинальных (в целом пологое залегание, обилие терригенно-галогеинных пород, отсутствие признаков метаморфизма, амагматичности).

В основании комплекса залегает красноцветная молассовая формация фамена, в составе которой развиты разнозернистые песчаники, реже алевролиты, гравелиты, конгломераты. Эти образования по простиранию нередко сменяются лагунными отложениями соленосной формации. Толщи фамена повсеместно перекрываются нижнекаменноугольными образованиями нерасчлененной группы карбонатных и терригенно-карбонатных формаций, в составе которых доминируют известняки, часто битуминозные, мергели, доломиты; терригенные породы широко развиты на юго-востоке депрессии. В Моинкумской впадине среди терригенных пород установлено до 10—13 угольных пластов (Каракольское и Александровское месторождения).

Морские образования перекрываются отложениями остаточных озерных бассейнов и аллювиальных потоков, пестроцветными на севере (таскудукская свита С₂) и сероцветными на юге. На эту толщу налагает существенно красноцветная континентальная серия мощностью до 1500 м. Она делится на две свиты: нижнюю, джезказганскую (С₂₋₃), в составе которой преобладают песчаники и гравелиты (на севере, в Жезказганском районе серо-зеленые, меденосные) и верхнюю, жиделисайскую (Р₁₋₂), которая выделяется преобладанием красноцветных алевролитов и аргиллитов, нередко соленосных. Завершается разрез литифицированного осадочного слоя в северной части депрессии сероцветной карбонатно-терригенной формацией Р₁₋₂ (мергели, алевролиты, песчаники кенгирской свиты), а на юге провинции — надсоленосной красноцветной мелкообломочной верхнепермской формацией (песчаники, алевролиты, аргиллиты).

Одной из характерных черт ПСЭ является его амагматичность: лишь единичные тела позднепалеозойских гранодиоритов вскрыты скважинами среди средне-нижнепалеозойских отложений, в Нижнечуйском районе известны пластовые тела андезитовых порфиритов.

В структурном плане ПСЭ заметную роль играет унаследованное от складчатого основания Тастинское макроподнятие, разделяющее депрессию на две группы впадин: западную, Кумула-Кокпансор-Сузакскую, и восточную, Тесбулак-Мойынкумскую, преимущественно северо-западной ориентировки. Эти структуры осложнены более мелкими брахиоформными и локальными куполовидными поднятиями. Наклон слоев в них обычно не более $2-5^\circ$, редко в зонах разломов — до $10-40^\circ$. Доминируют изометричные формы поднятий; в Нижнечуйском солянокупольном районе, разделяющем Тесбулакскую и Мойнкумскую впадины, преобладают близширотные линейные структуры.

Блоковое строение ПСЭ определяется протяженными глубинными разломами северо-западного и близмеридионального направлений: Джалаир-Наймайским, Кокшетауским, Джувантобинским, Мынчукурским, Арандинским и другими. Менее выдержаны северо-восточные и близширотные нарушения.

В гидрогеологическом отношении отложения ПСЭ, по данным Г. М. Шора [8], образуют Чу-Сарысуйский сложный артезианский бассейн, в котором выделяется несколько водоносных комплексов и водоупорных толщ. Первые характеризуются неоднородными, в целом плохими коллекторскими свойствами пород, обладающих низкой (как правило, $3-8\%$) эффективной пористостью и проницаемостью от 0,05 до 0,15 Д. Заключенные в них воды трещинно-пластовые, трещинно-жильные, реже карстово-пластовые и трещинно-карстовые. По минерализации они относятся к соленым, содержат кислородно-азотные и азотные растворенные газы.

В зоне весьма затрудненного водообмена в образованиях ПСЭ, по сведениям Г. М. Шора, установлены термальные ($t > 100^\circ\text{C}$) азотные, азотно-углеводородные и углеводородные рассолы с минерализацией до 321 г/л и более, обогащенные As, Si, Pb, Zn, Co, Ga, Mn, Fe. Они могут рассматриваться в качестве потенциальных источников растворов, формирующих месторождения меди, полиметаллов, железа, марганца и другие, известные в горном обрамлении Чу-Сарысуйской депрессии.

Очаги открытой современной разгрузки вод не известны, хотя имеются данные о миграции углеводородных газов в мезозойско-кайнозойский чехол. Несколько шире проявлены очаги былой разгрузки вод, выраженные в форме вторичной битуминизации и признаков восстановления красноцветных образований среднего и верхнего палеозоя, редких минеральных новообразований гематита и галенита. По существующим представлениям, с такими очагами былой разгрузки связано образование стратиформного оруденения на месторождениях Жезказган, Жаман-Айбат.

Чу-Сарысуйская депрессия, за исключением Восточно-Чуйского прогиба, входит в состав Восточно-Казахстанской нефтегазоносной провинции. Промышленные скопления в толщах ПСЭ образует только природный газ, мелкие месторождения которого (Придо-

рожное, Кемпыртобе, Учарал, Айракты, Амангельды и др.) установлены на трех стратиграфических уровнях: в алевроито-песчаниковой пачке девона, в известняках нижнего карбона и в подсолонной пачке нижней перми. Проявления нефти представлены в виде рассеянных капельно-жидких включений в различных горизонтах литифицированного слоя.

По данным Г. М. Баранова, средне-позднепалеозойские отложения характеризуются кларковыми содержаниями урана и тория. Из рудных скоплений наиболее интересна выявленная при геологической съемке объединением «Центрказгеология» Сорбулакская группа урановых проявлений, в том числе мелкое месторождение Сорбулак Северный. Урановое оруденение здесь приурочено к выветрелым известковистым алевролитам и мергелям кенгирской свиты (P_{1-2}) вблизи допоздне меловой денудационной поверхности под окисленными аллювиальными отложениями тулона. Оруденение представлено маломощными (0,2—1,5 м, редко более) линзами с максимальными размерами в поперечнике до 1 км. Содержание урана неравномерное, в основном 0,03—0,16%, в отдельных пробах — до 0,4—1,5%. Основной рудный минерал — настуран. Отмечаются повышенные содержания Mo, Ni, Co, Cu (до сотых долей процента), а также Ba (до 0,6%) и P (до 0,1%). Рудные линзы приурочены к одному или двум уровням, отвечающим палеогеохимическим барьерам у нижней границы древнего грунтового окисления. Вероятный возраст оруденения J_3-K_1 .

Мезозойско-кайнозойские отложения. Основные сведения о мезозойско-кайнозойском чехле Чу-Сарысуйской депрессии получены в последнюю четверть века. После того как к началу 60-х гг. была установлена бесперспективность меловых и палеогеновых отложений на нефть и газ, их изучение в основном проводилось на основе государственных геологических и гидрогеологических съемок (а в последние годы — глубинного геологического картирования), которые выполнялись экспедициями и партиями предприятий «Южказгеология» и «Центрказгеология». Полные и подробные сведения о геологическом строении и гидрогеологических особенностях мезозойско-кайнозойского чехла получены в результате специализированных работ на уран, проведенных партиями и экспедициями предприятия «Волковгеология» совместно с ВСЕГЕИ и другими научно-производственными организациями. Достаточно сказать, что в Чу-Сарысуйской урановорудной провинции в ходе этих работ уже пробурено свыше 8 млн м буровых скважин, в том числе более тысячи гидрогеологических скважин.

Геологами предприятия «Волковгеология» и ВСЕГЕИ совместно с сотрудниками ПСЭ объединения «Южказгеология» разработана и уточнена стратиграфическая схема мезозойского чехла, выделены свиты и горизонты, наименование которых глубоко укоренилось в практике специализированных работ, в геологической литературе по урану, в ГКЗ (большинство горизонтов вмещает промыш-

ленные руды). При этом многие подразделения были выделены одновременно или раньше тех, которые использовались при геологических съемках. Возрастные палинологические, фаунистические определения преимущественно выполнены специалистами поисково-съемочной экспедиции ПГО «Южказгеология» и ИГН НАН РК (С. М. Бляхова, Л. А. Полумискова, А. П. Савинова, Е. В. Нестерова). В настоящей работе использована местная стратиграфическая схема, принятая в практике работ на уран (рис. 3).

Мезозойско-кайнозойские отложения депрессии представлены главным образом среднеальпийским (платформенным) мел-палеогеновым СФК и позднеальпийским (активизационным) позд-неолигоцен-четвертичным СФК.

Осадочные формации триасово-юрского активизационного комплекса на территории собственно рудной провинции практически не проявлены: юрские грабен-синклинали широко распространены в соседней Арыскупской и Южно-Торгайской впадинах, где они газонефтеносны, и в юго-восточной части депрессии, в обрамлении Чу-Илийского (Хантауский грабен) и Кендыктасского (Сугандинская, Благовещенская, Чокпарская структуры) антиклинорий, где они характеризуются непромышленной ураноносностью (см. рис. 2).

Рассмотрим *стратиграфические особенности* Чу-Сарысуйской депрессии. В составе *среднеальпийского СФК* выделяются отложения мела, палеоцена и эоцена.

Меловые отложения среди названных пользуются максимальным распространением и представлены практически только верхним отделом (локальное развитие альбских образований таптайской свиты предполагается в отдельных понижениях между куполовидными структурами в обрамлении Чуйского выступа).

Разрез верхнего мела наиболее полно изучен в центральной и северной частях депрессии. Он начинается пачкой пестроцветных песчано-гравийно-глинистых пород, среди которых преобладают окатанной гальки, с белыми гнездами каолина, а также плотные малиново-красные глинистые алевролиты и песчаники условно сеноманского возраста. В северо-западной краевой части депрессии, на переходе в Арыскупскую впадину, сеноманские (?) отложения образуют выдержанный горизонт, представленный плотными пестроцветными глинами с прослоями темно-серых глин и серых среднезернистых песков.

Отложения нижнего турона распространены главным образом в Сузакской впадине, Каракоинском прогибе и к западу и северо-западу от этих структур. Они выделяются под названием мынкудукского горизонта (свиты), который по объему и положению в разрезе приблизительно соответствует ащикольской свите Е. А. Никитина. Этот горизонт, рудовмещающий на месторождении Мынкудук, залегает на домезозойских образованиях либо с размывом на сеноманских (?) отложениях. Представлен он континенталь-

ными образованиями приморской озерно-аллювиальной равнины. Максимальные значения мощности (более 100 м) тяготеют к сочленению с Арыскупской впадиной.

Мынкудукский горизонт представляет собой трансгрессивный аллювиальный цикл, состоящий из нескольких ритмов. Выделяется несколько типов его разреза в зависимости от положения в фациально-палеогеографической зональности. На северо-западе депрессии он характеризуется существенно глинистым составом при подчиненной роли песчаных и гравийно-песчаных пород, обычно тяготеющих к пизам разреза. В юго-восточной части, где верхи горизонта частично или полностью эродированы, преобладают породы руслово-стречневых фаций — разнозернистые гравийные пески, песчано-гравийные и песчано-гравийно-галечные образования. Наконец, для рудного поля месторождения Мынкудук типичны разрезы переходного типа. Нижняя часть горизонта (нижний подгоризонт) здесь обычно представлена сероцветными гравийно-песчаными отложениями с прослоями серых и темно-серых алевроитов и глин. В составе верхней части (верхнего подгоризонта) доминируют зеленовато-серые мелко-, среднезернистые пески, которым подчинены прослой глини и алевролитов, нередко завершающих разрез мынкудукского горизонта.

Аллювиальные равнины палео-Сарысу и палео-Чу отделялись невысоким палео-Каратауским поднятием от раннестуронского морского бассейна, располагавшегося в Сырдарьинской депрессии и Кызылкумах. Фациальные условия осадкообразования в нижнем туроне определялись развитием конседиментационных тектонических структур. Отмечается приуроченность русловых фаций к понижениям рельефа основания горизонта, тогда как межпойменные глинистые фации тяготеют к поднятиям, в частности к локальным антиклинальным структурам.

Первичные литогеохимические типы пород горизонта находятся в тесной пространственно-генетической связи с их фациальными особенностями. В частности, установлено, что сероцветный и темноцветный («углистый») типы свойственны отложениям руслово-стречневых и пойменно-старичных фаций. Песчаные и гравийно-песчаные отложения сероцветного типа обычно характеризуются светло-серой окраской, тонкодисперсной формой рассеянного углефицированного детрита, невысоким (нередко ниже нормы — 0,05%) содержанием органического углерода. Зеленоцветный тип присущ отложениям краевых пойменных фаций и фаций слабо проветриваемых озерных бассейнов. Содержание S_{org} в них не более 0,05%. Пестроцветный и красноцветный типы пород характерны для алевроито-глинистых образований наклонной пролювиальной равнины, межпойменных фаций мелководных бассейнов с окислительной или смешанной окислительно-восстановительной средой.

Сероцветные высокопроницаемые отложения мынкудукского

горизонта явились благоприятной средой для развития процессов эпигенетического рудообразования.

Отложения позднего турона — коньяка — сантона образуют мощный (до 70—120 м) континентальный макроцикл, выделяемый как инкудукский надгоризонт (включает тамгалинскую свиту Е. А. Никитина — $K_{2t_2}-k_{n_1}$), залегающий на мынкудукском горизонте с перерывом, а в краевых частях депрессии — и с угловым несогласием. Его нижняя граница проводится по подошве первого выдержанного галечно-гравийного слоя. Характерной чертой инкудукского надгоризонта, выделяющей его среди подстилающих и перекрывающих образований, является в общем гораздо более грубозернистый состав его отложений, особенно в центральной и юго-восточной частях депрессии, где его разрез местами нацело сложен песчано-галечно-гравийными образованиями. В Мынкудукском районе в его составе наблюдаются линзы и прослои сероцветных и пестроцветных глин и алевролитов, фиксирующие в разрезе от трех до пяти циклов, как правило, незавершенных, с трансгрессивной тенденцией их формирования: внизу развиты песчано-гравийные породы, переходящие выше в песчано-глинистые отложения.

Осадконакопление в позднем туроне — сантоне продолжалось по плану, унаследованному от раннетуронского века, но в условиях усилившейся тектонической активизации, увеличения уклона и скорости течения рек, с широким участием пролювиальных пемывов отложений. Климат характеризовался заметными признаками аридизации, что нашло свое выражение в более широком распространении пестроцветных и красноцветных литогеохимических типов отложений.

В целом инкудукский надгоризонт представляет собой своеобразный фациально-литологический комплекс, во многом определяющий металлогению урана мезозойско-кайнозойского чехла. Его отложения обладают максимальными для среднеазиатского СФК региональной проницаемостью и водопроницаемостью, что обуславливает их ведущую роль в гидродинамике подземных вод артезианского бассейна. Вместе с тем в северо-западной части депрессии в его составе довольно широко развиты породы сероцветного типа, являющиеся благоприятной средой для эпигенетического рудообразования.

Отложения позднего сенона (кампа — маастрихт) и раннего палеоцена представлены жалпакским надгоризонтом, приближенно соответствующим коклансорской свите Е. А. Никитина. В юго-западной части депрессии верхи данного комплекса сложены преимущественно пестроцветными песчано-глинистыми отложениями, которые Х. Б. Аубакиров выделил в самостоятельный «пестрый горизонт», позднее включенный в палеоценовый «чулаккурганский горизонт». В северной части Сузакской впадины рассматриваемые отложения сначала представлялись в виде двух самостоятельных

горизонтов: нижнего, жалпакского, и верхнего, бюртускенского. Позднее ввиду отсутствия между ними разделяющей границы они были объединены в единый жалпакский горизонт, который в соответствии со «Стратиграфическим кодексом СССР» [46], на наш взгляд, более близок к понятию «надгоризонт».

В центральной части депрессии наиболее распространен тип разреза этого надгоризонта, в котором нижняя часть, как правило, выполнена сероцветными разнородными песками с маломощными линзами серых глин и алевролитов, а верхняя — белесыми, зеленоватыми или пестроцветными средне-мелкозернистыми песками с прослоями и линзами коричнево-горчичных глин, а также плотных светло-серых песчаников с карбонатным цементом.

Жалпакский надгоризонт представляет в депрессии литолого-фациальный комплекс с чертами аллювиального цикла трансгрессивной направленности: его основание сложено преимущественно руслово-стречневными отложениями речной системы с активным стоком, тогда как верхние части отражают условия стареющих рек с медленным течением, а на юге Сузакской впадины — неглубоких озерных бассейнов с неоднородными восстановительно-окислительными условиями осадконакопления.

Русловые и старичные отложения нижней части надгоризонта относятся к сероцветному литогенетическому типу, в остальной части разреза преобладают породы «пестроцветного» и «безжелезистого» («белоцветного») типов. Широкое распространение пород последних двух типов обязано главным образом наложенным изменениям, прежде всего связанным с дат-палеоценовыми процессами выветривания и глубокого грунтового окисления.

Платформенному тектоническому режиму позднего сенона в целом свойственно заметное преобладание процессов погружения и впадинообразования. В конце данного цикла Чу-Сарысузская депрессия представляла собой плоскую аллювиально-озерную приморскую равнину, осадконакопление на которой сменилось региональным воздыманием территории, сопровождавшимся развитием процессов выравнивания в окислительных средах. В результате этого сравнительно благоприятной для формирования эпигенетического оруденения оказалась лишь нижняя, повсеместно затронутая дат-палеоценовым грунтовым окислением часть жалпакского надгоризонта.

Поздний палеоцен в Чу-Сарысузской урановорудной провинции представлен уванасским горизонтом, выделенным Н. Н. Петровым в 1970 г. Несколько позднее аналогичная пачка отложений под названием «канжуганский горизонт» была выделена Х. Б. Аубакировым в районе одноименного месторождения.

Позднепалеоценовые образования занимают по сравнению с уже описанными существенно меньшую площадь, что связано как с сокращением контуров бассейна осадконакопления, так и с процессами эоценовой эрозии. Верхняя граница уванасского горизон-

та проводится по подошве сероцветных глин, залегающего выше уюкского горизонта либо на площадях полного размыва последнего — по подошве средне-позднеэоценового интымакского (чеганского) горизонта. Нижняя граница, менее четкая, соответствует контакту сероцветных разнозернистых песков с подстилающими зеленоцветными известковисто-песчано-глинистыми образованиями верхней части жалпакского надгоризонта.

В вертикальном разрезе уванасского горизонта нередко выделяются два цикла более высокого порядка. На месторождении Уванас проявлен один цикл, начинающийся гравийными песками с прослоями темно-серых глин и лигнитов и заканчивающихся озерно-болотными глинистыми отложениями. Мощность горизонта к югу возрастает, и в Канжуганском УРР в его разрезе выделяются уже два цикла (подгоризонта). В центральной части Сузакской впадины соотношение песчаных и глинистых пород в горизонте приблизительно равное, в западной заметно преобладают глинистые отложения, а в северо-западной вновь сокращается мощность и почти полностью исчезают из разреза глинистые прослои.

Отложения позднего палеоцена накопились в условиях фаций нижних течений рек, подводной дельты и мелководных, местами заболоченных, озерных бассейнов приморской низменности. Русловые, дельтовые и подводно-дельтовые отложения представлены сероцветным типом. Отдельно-косовые фации характеризуются интенсивно промытыми осветленными разностями зеленовато-белесых песков «безжелезистого» типа. Для фаций мелководных озерных бассейнов характерны пестроцветные глинисто-алевритовые отложения, которым подчинены углисто-глинистые прослои.

Уюкский горизонт объединяет отложения верхов позднего палеоцена и раннего эоцена. Он впервые выделен Н. Н. Петровым в 1961 г. в районе юго-западного погружения хр. Большой Каратау и соответствует кайнарбулакской свите унифицированной шкалы Казахстана. В центральной и северо-западной частях Сузакской впадины распространены морские и прибрежно-морские отложения, представленные темно-серыми и зеленовато-серыми глинами, заключающими один или несколько прослоев светло-коричневых («шоколадных») алевритистых глин. К востоку глинистые образования сменяются темно-серыми мелкозернистыми песками с прослоями устричника. В юго-восточной части Сузакской впадины наблюдается зона развития дельтовых, подводно-дельтовых и пойменно-русловых образований, которые характеризуются циклическим строением разреза и преобладанием средне-мелкозернистых песков над алеврито-глинистыми породами, обычно завершающими осадочные циклы. Отложения характеризуются широко проявленными размывными текстурами пород. В переходной от континентальных к морским отложениям зоне отмечаются сложные фациальные взаимоотношения песчаных и глинистых отложений, превалирование «струйчатых», «поточковых» форм их залегания.

Доминирующим литогеохимическим типом пород является сероцветный, представленный серыми и зеленовато-серыми песками, алевропелитами, глинами. Весьма характерны породы «углистого» («темноцветного») типа с максимальным для Чу-Сарысуйской депрессии содержанием $C_{срт}$ (десятичные доли процента в песках и до целых процентов в глинах).

Иканский горизонт (выделен одновременно с уюкским) объединяет среднеэоценовые отложения района. Он известен также как муонкумская, или яныкуржанская, свита унифицированной шкалы Казахстана.

В отличие от уюкского горизонта иканский характеризуется преобладанием зеленовато-серых неотчетливо слоистых глин и присутствием довольно мощных (до 3 м и более) прослоев кремнистых (опоковидных) глин. Этому горизонту в целом свойственна повышенная карбонатность отложений. В юго-восточной части Сузакской впадины иканский горизонт, как и уюкский, представлен подводно-дельтовыми и дельтовыми разновидностями пород, образующими в плане струйчато-поточковые формы залегания, выраженные чередованием песчаных и глинистых отложений. В составе горизонта здесь выделяются, по крайней мере, два цикла, или подгоризонта, разделенные глинистым водоупором.

Проницаемые отложения иканского горизонта наряду с уюкскими образованиями явились благоприятной средой для эпигенетического рудообразования.

Интымакский («чеганский») горизонт среднего — верхнего эоцена венчает разрез морского палеогена в депрессии. Его накоплению предшествовала кратковременная фаза активизации платформенных поднятий, выразившаяся в региональном угловом несогласии, которое проявлено в основании рассматриваемого горизонта. «Предчеганское» несогласие и обширный размыв подстилающих отложений впервые были установлены партией № 27 Волковской экспедиции в 1970 г.; до этого бытовали представления о едва ли не повсеместном распространении ранне-среднеэоценовых отложений в Чу-Сарысуйской депрессии.

Среди прочих районов развития этого горизонта упомянутый выделяется тем, что здесь сохранилось обширное поле песчаных отложений прибрежно-морской фациальной зоны, откартирована латеральная фациальная зональность (с востока на запад): 1) прибрежно-отдельная зона — преимущественно средне-мелкозернистые пески; 2) переходная фациальная зона — переслаивание песчаных и глинистых отложений с глинисто-алеврито-песчаным (хлидолитовым) «базальным слоем», содержащим обильные костные остатки рыб в форме коллофана и дисульфида железа, а также с пачкой неслоистых голубовато-зеленых глинистых песчаников и верхней пачкой темно-серых (до черных) слоистых глин, обогащенных тонкодисперсным углистым детритом; 3) зона открытого моря, представленная на всю мощность разреза характерными

зеленовато-серыми (серовато-зелеными) прерывисто-слоистыми глинами. В Сузакской впадине мощность горизонта 120—140 м.

Значение данного горизонта в металлогении Чу-Сарысуйской депрессии прежде всего заключается в том, что характеризующийся максимально широким среди морских отложений распространением, он играет роль регионального водоупора для нижележащих водоносных комплексов. Кроме того, в определенных обстановках этот горизонт является рудовмещающим.

Позднеальпийский (позднеолигоценно-четвертичный) активизационный СФК. Олигоценовая эпоха отмечена обширным разрастанием областей поднятий. Начало вызвавших их движений связывается с «бактыкаринской фазой» (около 30 млн лет назад), следствиями которой явились регрессия позднеоценового моря и длительный стратиграфический перерыв (возможно, 8—9 млн лет). Регион и, в частности, Чу-Сарысуйская депрессия, приобрели вид приподнятой денудационной страны.

В позднем олигоцене последовало новое интенсивное воздымание, начался новый, киргизско-бетпак-далинский, осадочно-эрозионный цикл. В Чу-Сарысуйской депрессии с ним связано накопление красноцветной бетпак-далинской свиты. В пределах плато Бетпак-Дала для нее характерно двухчленное строение разреза: в нижней части выделяется пачка розовых средне-мелкозернистых песков и алевроитов, которые выше сменяются кирпично-красными слабоизвестковистыми глинами. В других местах развиты разрезы существенно глинистые. Возраст этого разреза оценивается главным образом по региональным предпосылкам как позднеолигоценораннемиоценовый.

Основные черты фацциально-палеогеографического плана этого времени в основном сохранились от предшествующего этапа, в частности элементы аллювиальных систем палео-Чу и палео-Сарысу. Поднятия на месте современного хр. Большой Каратау, по-видимому, не существовало. В районе господствовали умеренно-аридные климатические условия. Развивавшиеся еще в начале олигоцена процессы выветривания и поверхностного окисления в позднем олигоцене, вероятно, получили латеральную направленность: началось формирование зон грунтового и пластового окисления.

«Аральско-павлодарский» комплекс (надгоризонт) среднего миоцена — раннего плиоцена в Чу-Сарысуйской депрессии представлен тогускенской толщей. В результате буровых работ, проведенных Волковским предприятием, было установлено, что составными частями этого комплекса являются «асказансорская», и, видимо, «аральская» (андассайская) свиты.

На плато Бетпак-Дала и в Сузакской впадине в разрезах данного комплекса преобладают высококарбонатные неслоистые крас-

ноцветные и пестроцветные песчано-глинистые отложения с неоднородными («мусорными») текстурами пород. В юго-восточной части депрессии заметно повышается гипсоносность образований, хотя среди зеленоцветных глин определенную роль начинают играть прослои зеленоцветных, нередко с растительным детритом озерно-болотных водоемов аридной зоны. Максимальная мощность комплекса установлена в предгорных прогибах: Восточно-Чуйском (свыше 500 м) и Сузакском (более 250 м). В северной части депрессии аральско-павлодарские отложения сохранились от эрозии лишь на вершинах столовых останцов.

Начальные этапы формирования аральско-павлодарского надгоризонта могут оцениваться как благоприятные для развития процессов рудогенерирующего пластового и грунтового окисления в мел-палеогеновых формациях.

Кеншагырская свита (N_2^{2-3}), по возрасту соответствующая широко развитой во впадинах Юго-Восточного Казахстана илийской свите, распространена лишь в юго-восточной части депрессии, за пределами провинции.

В отличие от Илийской и Балхашской впадин здесь в ее составе доминируют песчано-глинистые, часто лёссовидные образования палевых окрасок. Слабоактивный тектонический режим этого времени не был благоприятным для развития эпигенетических инфильтрационных процессов.

Рассмотренные породные комплексы неотектонического этапа соответствуют первому, продолжительному ($P_3^3—N_2^2$) и умеренно активному (суборогенному) периоду неотектогенеза, который характеризовался накоплением преимущественно красноцветных осадочных формаций.

В поздний плиоцен — антропоген сформировался комплекс отложений, связанный с качественно новым, собственно орогенным периодом развития региона, начало которого относится к проявлению 1,7—1,8 млн лет назад хоргосской тектонической фазы [21]. В предгорной области депрессии данный комплекс представлен мощной грубообломочной молассой, в составе которой преобладают галечники и валунники, конгломераты с карбонатным цементом, щебнисто-суглинистые отложения. С удалением от предгорий они сменяются мелкообломочными образованиями: аллювиальными и озерными песками, глинами, золовыми песками и лёссовидными суглинками, делювиально-пролювиальными, такырными глинисто-песчаными накоплениями. В пределах структурного плато Бетпак-Дала и денудационно-аккумулятивной равнины в северной части депрессии отложения $N_2^2—Q$ развиты спорадически.

Климат этого времени характеризовался частыми сменами теплых, засушливых периодов интервалами похолодания и увлажнения, связанными с известными фазами оледенения. Климатические особенности нашли свое отражение в облике пород, среди которых

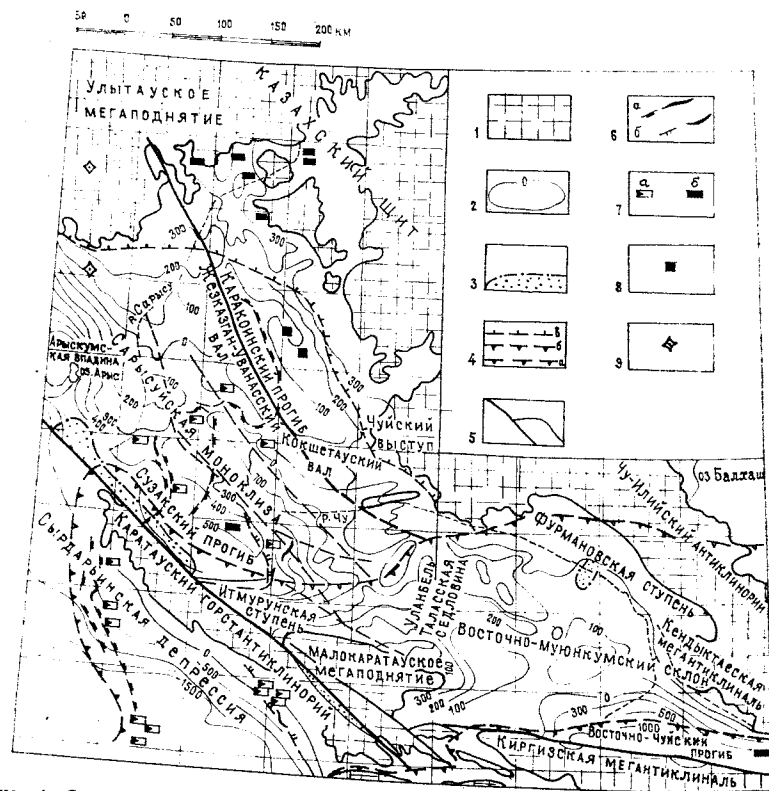


Рис. 4. Структура мезозойско-кайнозойского чехла Чу-Сарысуейской депрессии с расположением региональных ураноносных фронтов пластового окисления: 1 — домезозойские образования; 2 — изогипсы подошвы мезозойско-кайнозойского чехла; 3 — юрские отложения; 4 — границы неотектонических областей и зон; а — между орогенной и суборогенной платформой, б — между суборогенной зоной и слабо-активизированной платформой, в — граница Казахского щита; 5 — разрывные и разрывно-флексурные тектонические нарушения; 6 — региональные фронты окисления и рудные залежи: а — в меловых горизонтах, б — в палеогеновых горизонтах; 7—9 — месторождения и рудопроявления урана: 7 — пластово-инфильтрационные (а) и экзодиагенетические (б), 8 — грунтово-инфильтрационные, 9 — полигенные в кремнисто-углеродистых сланцах

преобладают образования палеоцветного геохимического типа. Основные черты тектонической структуры мезозойско-кайнозойского чехла (рис. 4). В мел-палеогеновый этап Чу-Сарысуейская депрессия сформировалась как довольно крупная, симметричная в поперечном разрезе синеклиза, отделенная невысоким палео-Каратауским поднятием от остальной части Туранской плиты. В это время структуры депрессии развивались преимущественно конседиментационно, испытывая слабые деформации главным образом

в областях унаследованных поднятий. Формирование тектонической структуры местами контролировалось крупными долгоживущими линейными элементами.

Современный облик депрессии приобрела в результате движений неотектонического этапа, причем характер ее структуры прямо зависит от положения той или иной ее части относительно наложенной орогенной зональности.

Ее крайняя, юго-восточная, часть находится в области высокоамплитудного орогена и представляет собой близширотный предгорный — Предкиргизский, или Восточно-Чуйский — прогиб с мощностью молассовых отложений до 3 км, с амплитудой перемещения подошвы чехла около 8—9 км. С северо-востока к этой области примыкает межгорная суборогенная часть депрессии с амплитудой вертикальных перемещений до 2000 м (по Главному Каратаускому разлому). Рассмотрим структуры второго порядка, расположенные в ее пределах.

Сузакская впадина (прогиб) северо-западной ориентировки представляет собой наиболее погруженную часть депрессии, где глубина залегания домезозойских образований составляет 700—850 м. Строение впадины асимметричное: уклон слоев северо-восточного борта не превышает 20°, тогда как юго-западный борт характеризуется крутыми углами падения мезозойско-кайнозойских слоев, достигающими в зоне Главного Каратауского разлома 50—60°. Особенно активно Сузакская впадина развивалась в позднеальпийское время, что подчеркивается значительной мощностью неогеновых отложений и позволяет относить ее к субороженным структурам.

Итмурунская ступень — клиновидная сложностроенная структура, примыкающая к Каратаускому горст-антиклинорию и расположенная на продолжении Малокаратаского поднятия. С севера и северо-востока она ограничена Сузакским разломом и разделяется Чулаккурганским прогибом на западный и восточный блоки. В Западном блоке выделяются Жунусатинская и Придорожная ступени и Канжуганское структурное плато («поднятый блок»).

Границей субороженной части депрессии служит западный склон Уланбель-Таласской седловины («вала»), пологого поднятия близ меридиональной ориентировки, расположенного между Чуйским выступом и Малокаратаским поднятием. Особенностью строения этой структуры определяется развитием многочисленных локальных куполовидных поднятий, контролирующих газовые месторождения в промежуточном этаже.

В юго-восточной части депрессии выделяется обширный Восточно-Муюнкумский склон, погружающийся в сторону Предкиргизского орогенного прогиба и осложненный пологими структурами более высоких порядков.

Северная часть Чу-Сарысуейской депрессии, в которой расположена большая часть урановорудной провинции, относится к обла-

сти активизированной новейшей платформы. В целом она может быть выделена как Сарысуйская моноклиза, полого наклоненная на юго-запад, в сторону Каратауского горст-антиклинория, или «кряжа», по Р. Г. Гарецкому (рис. 5). В северо-восточной части депрессии моноклиза осложняется Жезказган-Уванасским мегавалом, представляющим собой систему вытянутых на северо-северо-запад брахиантиклиналей, частично наследующих древнее Тастинское поднятие. Восточнее поднятий выделяется сопряженный с ними Каракоинский линейный прогиб, унаследованно развившийся на месте средне-позднепалеозойского Бюртускенского прогиба. Границей между Жезказган-Уванасским мегавалом и Каракоинским прогибом является зона глубинного Кокшетауского разлома. По своему асимметричному рисунку поперечный разрез системы поднятий напоминает строение Каратауского горст-антиклинория. Однако в отличие от последнего эта система практически не испытывала воздействия процессов неотектогенеза.

Несомненно платформенный характер имеет и так называемый Кокшетауский вал — погребенное западное продолжение Чуйского выступа. Здесь широко распространены локальные солянокупольные поднятия субширотной ориентировки («Нижнечуйский солянокупольный район»).

На северо-западе депрессия отделена от глубокой Арыкумской впадины весьма пологим Южно-Улытауским поднятием, представляющим собой южное погребенное продолжение Улытауского массива.

В последние десятилетия многие разрывные нарушения, выделенные геофизическими методами на территории Чу-Сарысуйской урановорудной провинции, были подтверждены в мезозойско-кайнозойском чехле буровыми работами. При этом было установлено следующее:

1) Количество и интенсивность упомянутых нарушений определяются их расположением относительно неотектонической зональности: число и амплитуда нарушений в орогенной и суборогенной зонах существенно выше, чем в платформенной.

2) В платформенной части депрессии большинство установленных нарушений — северо-западных, отчасти субширотных и субмеридиональных, фиксируемых в ПСЭ, конседиментационно развивалось в среднеальпийскую эпоху. Наиболее крупные разломы (Кокшетауский, Мынчукурский, Арандинский, Жуантобинский) являются граничными для тектонических структур (блоков) второго порядка.

3) Важнейшая особенность большинства нарушений состоит в закономерном уменьшении степени их проявленности и амплитуды снизу вверх в мезозойско-кайнозойском чехле: многие из них смешают осадочные слои в нижних частях разреза и быстро затухают вверх, трансформируясь во флексурно-разрывные и флексурные

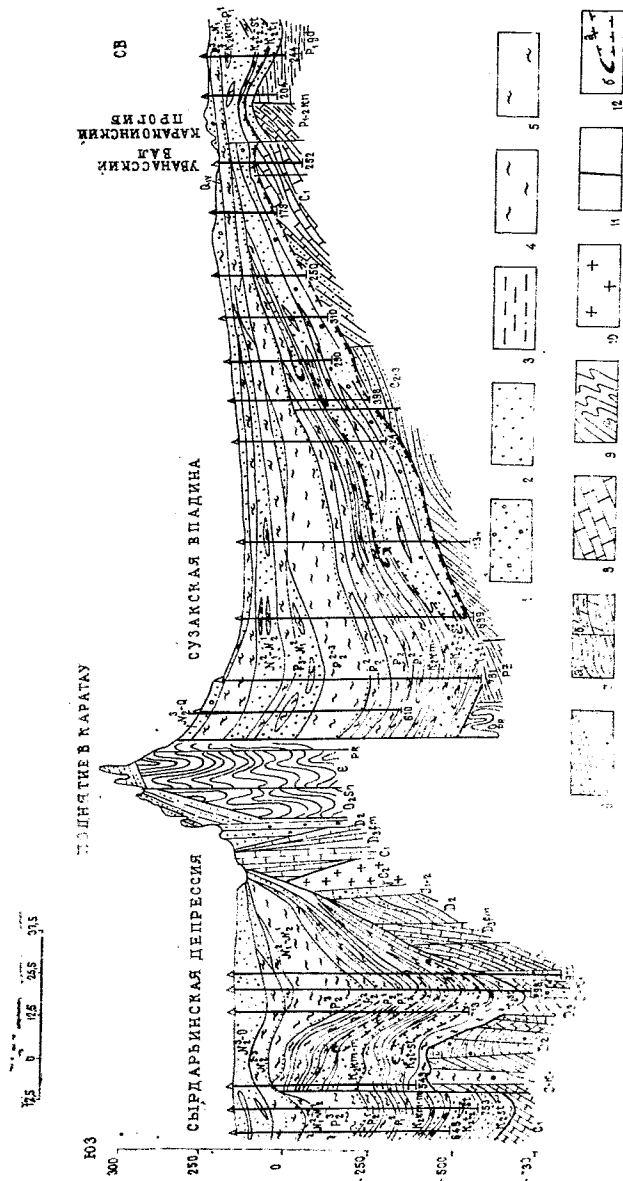


Рис. 5. Геологический разрез отложенный Сырдарьинской и Чу-Сарысуйской депрессий; 1 — пески разнотермические, гравийные; 2 — пески средне- и мелководные; 3 — алевроиты; 4 — глины и алевролиты; 5 — глины известковые; 6 — песчаники; 7 — алевролиты (а) и известковые алевролиты (б); 8 — известняки; 9 — кристаллические сланцы; 10 — гранитоиды; 11 — разрывные нарушения; 12 — границы ЗПО (а) и связанные с ними урановое оруденение (б)

зоны. Поэтому относительно высокая дислоцированность северной (платформенной) области депрессии на самом деле лишь кажущаяся, обусловленная проявленным здесь более глубоким эрозийным срезом и меньшей мощностью перекрывающих палеогеновых и неогеновых отложений.

Краткая геохимическая характеристика мезозойско-кайнозойских отложений. Наибольший интерес в отношении эпигенетической рудоносности мезозойско-кайнозойского чехла представляют геохимические особенности образований рудовмещающего мел-палеогенового СФК и прежде всего проницаемых терригенных отложений.

Установлено, что первичные концентрации урана и других химических элементов тесно связаны с фациальным типом отложений. В частности, наиболее высокие значения первичных содержания урана (до 5,1—6,3 г/т) свойственны подводно-дельтовому темно-цветным песчаным отложениям среднего — позднего эоцена (данные В. А. Шахвердова). Эти образования квалифицируются как геохимически специализированные осадочные формации и могут рассматриваться в качестве весьма вероятного источника металла на эпигенетических месторождениях. Диагенетически восстановленные

серо- и темноцветные породы выделяются и более высокими по сравнению с прочими отложениями фоновыми содержаниями Мо, Ge, Ni, Co, Ag и других элементов.

В табл. 2 показан усредненный уровень распределения элементов в отложениях мел-палеогенового СФК Чу-Сарысуйской провинции. Данные приведены для водопроницаемых гравийно-песчаных и песчаных пород (как наиболее информативных при изучении процессов эпигенетического рудогенеза) и сопоставлены с результатами исследований, проведенных в Алакольской и Зайсанской впадинах, в которых промышленное урановое оруденение пока не установлено. Характеристика приводится в значениях кларков концентрации по А. И. Перельману [34, 35], определяемых отношением установленных содержаний к значению кларка данного элемента.

Как видно из табл. 2, содержания большинства элементов в проницаемых отложениях региона существенно превышают их кларки по Таркяну и Ведыполю, причем породные концентрации этих элементов в отложениях мела и палеогена Чу-Сарысуйской урановорудной провинции, как правило, заметно выше, чем в Алакольской и Зайсанской впадинах.

Анализ материалов позволяет сделать вывод о наличии связи между содержанием химических элементов в мел-палеогеновых отложениях и геохимической специализацией домезозойских формаций, обрамляющих депрессионные структуры, и прежде всего, как было показано выше, формаций гранитно-метаморфического слоя.

Именно широким распространением в обрамлении Чу-Сарысуйской депрессии домезозойских формаций, геохимически специализированных на уран и группу других элементов, следует объяснять относительно повышенные концентрации в мел-палеогеновых отложениях U, Mo, Cu, Ag, Co, Ni, Re, Y, TR.

Итак, вмещающие мел-палеогеновые образования Чу-Сарысуйской депрессии, включающие большие объемы водопроницаемых терригенных пород, характеризуются достаточно крупными внутренними ресурсами многих полезных компонентов, которые в определенных геологических условиях могут представить собой реальный источник вещества при эпигенетическом рудообразовании.

Гидрогеологические и гидрогеохимические особенности мезозойско-кайнозойских СФК. В данном разделе использованы главным образом результаты специализированных гидрогеологических работ Волковского предприятия и региональных исследований, выполненных Г. М. Шором (ВСЕГЕИ), обобщившим и проанализировавшим материалы ранее проведенных работ общего профиля, а также связанных с поисками и разведкой урановых месторождений (свыше 1000 гидрогеологических скважин).

Чу-Сарысуйская депрессия — сложный одноименный артезианский бассейн, в котором выделяются два водоносных комплекса отложений — континентальных верхнемеловых и преимущественно

Таблица 2. Геохимическая характеристика неокисленных проницаемых верхнемеловых и палеогеновых отложений Чу-Сарысуйской урановорудной провинции (1), Алакольской (2) и Зайсанской (3) впадин

Элемент	Кларк для песчаных пород *	Отложения K ₂			Отложения P _{g1} —P _{g2}		
		1	2	3	1	2	3
U	0,45	4,9	4,4	2,2	6,7	4,2	4,4
Mo	0,2	12,0	3,0	5,0	12,0	6,0	3,0
Sc	1,0	4,9	0,7	4,1	5,1	1,0	6,3
Y	40,0	0,8	0,3	1,4	0,9	0,4	1,3
Co	0,3	42,3	19,0	26,0	39,6	26,7	28,3
Ni	2,0	21,0	6,5	8,5	19,5	9,5	11,5
Zn	16,0	5,1	1,4	1,6	5,3	0,8	3,4
Cu	5,0	9,8	2,4	8,4	9,2	2,8	5,3
Pb	7,0	2,7	3,3	3,3	3,1	2,1	2,7
Ag	0,05	2,3	0,4	1,2	1,8	0,3	1,1
Zn	220,0	0,5	0,7	0,6	0,7	0,8	1,1
Ti	1500,0	2,5	1,1	2,3	2,7	1,3	4,0
Be	0,5**	3,0	2,6	4,2	3,2	1,8	4,0
Sn	0,5**	7,6	4,6	4,4	8,2	3,6	6,6
V	20,0	2,6	2,0	1,6	2,6	1,2	2,8
Cr	35,0	2,1	0,5	0,7	1,7	0,3	1,1
Mn	5,0	134,0	64,0	94,0	108,0		74,0
Li	15,0	1,7	4,4	5,1	2,5	0,9	4,3
Ba	50,0	7,0	11,8	10,0	6,4	5,6	11,4
Sr	20,0	2,0	0,9	3,2	2,0	5,0	4,4
P	170,0	1,2	0,5	0,6	1,3	0,8	0,8

* По Таркяну, Ведыполю.

** Средняя величина из интервала значений в таблице Таркяна, Ведыполя [22].

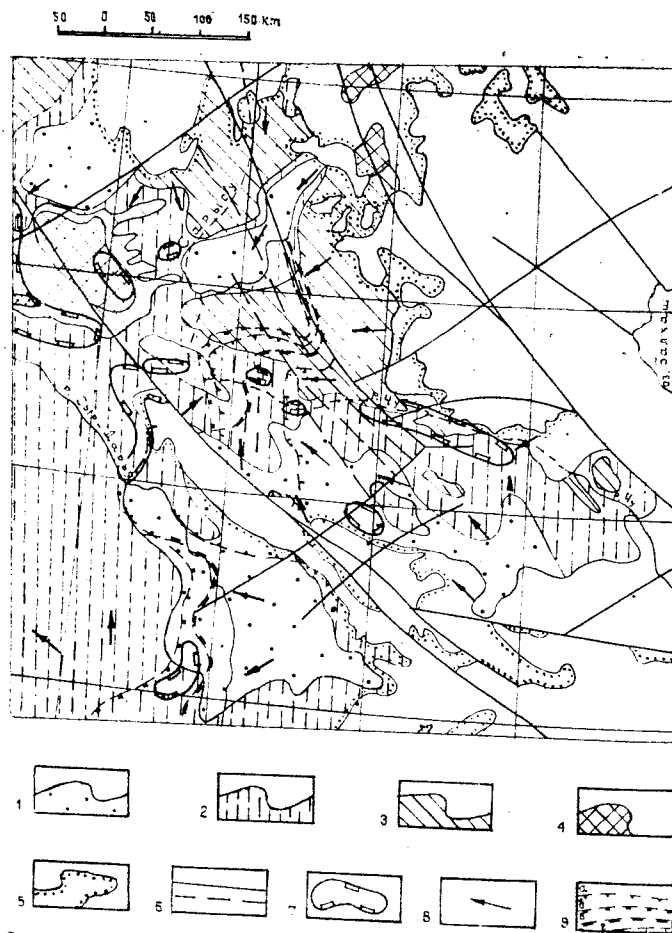


Рис. 6. Схема гидродинамики пластовых вод верхнемелового и палеоценово-эоценового комплексов Чу-Сарысуйского и Сырдарьинского артезианских бассейнов: 1—4 — общая минерализация вод (г/л): 1 — менее 0,5, 2 — от 0,5 до 3, 3 — от 3 до 10, 4 — более 10; 5 — выходы на поверхность докембрийских образований; 6 — зоны тектонических нарушений; 7 — основные очаги разгрузки; 8 — направление движения подземных вод; 9 — границы ЗПО в горизонтах: а — мынкудукском, б — инкудукском, в — жалпакском, г — уванас-канжуганском

морских палеоценово-эоценовых [11]. Они разделены между собой водоупорной глинистой пачкой различной мощности. Описанные выше рудовмещающие горизонты представляют собой водоносные горизонты, разделенные сплошными или линзующимися глинистыми водоупорами, в той или иной степени гидравлически взаимо-

связанными. Ввиду этого водоносным горизонтам свойственны односторонние гидродинамические процессы. Пьезометрическая поверхность пластовых вод наклонена от бортов к осевой части бассейна, что, по мнению Г. М. Шора, позволяет представить его как гидродинамически замкнутую структуру. Величина напоров в погруженных частях бассейна (Сузакская впадина) достигает 500—700 м с существенным, иногда до 30—40 м, превышением уровня земной поверхности, а снижение пьезометрической поверхности измеряется несколькими сотнями метров. Питание водоносных горизонтов осуществляется в пределах горных сооружений Киргизского Алатау, Кендыктаса, Каратау и их предгорий, в меньшей степени на возвышенностях северо-восточного низкогорного обрамления Чу-Сарысуйской депрессии (рис. 6).

Направления современных потоков подземных вод регулируются расположением и характером областей и очагов разгрузки, представленных многочисленными бессточными озерно-соровыми котловинами, долиной р. Чу. Вероятно, существенную роль играют также скрытые очаги разгрузки, связанные с перетоками подземных вод по каналам гидравлической связи (тектонически ослабленные зоны, гидравлические «окна» в водоупорах) в перекрывающие и подстилающие породы.

В Сузакском артезианском бассейне второго порядка генеральным направлением движения вод следует считать северо-западное, представленное «таласским» потоком, который, в свою очередь, испытывает активное боковое воздействие «каратауского» потока. Кроме того, выделяются относительно слабоактивные «чуйский» и «сарысуйский» потоки, действующие со стороны поднятий Казахского щита.

Активность стока в областях питания и интенсивность инфильтрационных потоков находят отражение в величине общей минерализации подземных вод, тесно связанной с их химическим составом. Пресные гидрокарбонатные воды приурочены к гидрогеологическим массивам Тянь-Шаньской орогенной системы (рис. 6). Пресные воды характерны и для осевых частей «сарысуйского» потока. По мере движения пресных вод к областям разгрузки закономерно возрастает величина их общей минерализации: пресные воды сменяются соленоватыми, слабосолеными и солеными («чуйский» поток, распространяющийся от Чуйского выступа, практически нацело представлен солеными — 3—10 г/л и более — водами). По мере увеличения минерализации гидрокарбонатные воды переходят в гидрокарбонатно-сульфатные, сменяющиеся сульфатно-хлоридными и хлоридными. В вертикальном разрезе общая минерализация, как правило, закономерно возрастает сверху вниз.

Гидрогеохимические и радиогидрогеохимические особенности подземных вод тесно связаны с условиями гидродинамики Чу-Сарысуйского артезианского бассейна. Воды характеризуются близонейтральными и слабощелочными средами с рН 6,9—8,4. Окисли-

тельным средам свойственно присутствие в воде свободного кислорода (обычно первые миллиграммы на литр) и положительные значения E_h — от (+5) — (+10) до (+250) — (+435) мВ. Распространение окислительных сред контролируется инфильтрационными потоками.

Содержание урана в кислородсодержащих водах определяется составом пород и ландшафтно-геохимическими условиями в областях питания, а также связано с составом и величиной общей минерализации вод. В пресных гидрокарбонатных водах потоков, распространяющихся от средне- и высокогорных областей питания, содержания урана низкие — менее $3 \cdot 10^{-6}$ г/л, редко $(3-10) \times 10^{-6}$ г/л. В более минерализованных сульфатно-хлоридных водах оно выше — от $(3-10) \cdot 10^{-6}$ до $(5-10) \cdot 10^{-5}$ г/л. Эти воды особенно свойственны потокам от низкогорных и холмогорных сооружений Казахского щита.

По мере расходования кислорода окислительные среды сменяются восстановительными, которые подразделяются на слабовосстановительные («глеевые») и сильновосстановительные (сероводородные) среды. Для Чу-Сарысуйского артезианского бассейна типично господство слабовосстановительных сред, характеризующихся развитием азотных газов, отсутствием или низким содержанием сероводорода, водорода и углеводородных газов. Содержание урана в них обычно не более $(1-5) \cdot 10^{-6}$ г/л. Величина E_h таких вод превышает —50 мВ. Сильновосстановительные среды с отрицательными значениями E_h [—(150) — (—450 мВ)] распространены локально и обусловлены главным образом повышенным содержанием дисульфидов и обусловлены сероцветными геохимическими типами пород руслово-пойменных и подводно-дельтовых фаций. Содержание урана в сильновосстановительных средах низкое, как правило, не превышающее $1 \cdot 10^{-6}$ г/л.

Таким образом, рудовмещающие водоносные комплексы мела и палеогена Чу-Сарысуйской депрессии характеризуются пестрыми гидрогеохимическими обстановками и их зональностью, свойственной артезианским бассейнам инфильтрационного типа. Именно в таком режиме Чу-Сарысуйский артезианский бассейн развивался на неотектоническом этапе, в течение которого водоносные горизонты испытывали агрессивное воздействие потоков кислородных вод, формировавших зональные ряды глубоких эпигенетических изменений, в том числе рудообразующих. По мере развития и перестройки тектонической структуры депрессии адекватно изменялась и гидрогеохимическая зональность подземных вод, современное выражение которой значительно отличается от того вида, который существовал в ранний (позднеолигоцен-миоценовый) период неотектонической эпохи.

Эпигенетические изменения. Среди эпигенетических изменений в отложениях мел-палеогеновых водоносных горизонтов прежде

всего должны быть выделены рудоконтролирующие региональные зоны пластового окисления.

Современные границы региональных фронтов ЗПО в Чу-Сарысуйской урановорудной провинции в меловых горизонтах (мынкудукском, инкудукском, жалпакском) определяются крупными платформенными конседиментационными поднятиями: Жезказган-Уванасским мегавалом, Южно-Улытауским поднятием и новейшим Каратауским горст-антиклинорием (см. рис. 2).

Отмечается резкое пространственное несовпадение региональных фронтов ЗПО в уванасском (канжуганском), уюкском и иканском горизонтах палеоцена и эоцена по отношению к фронтам ЗПО в меловых горизонтах: первые от вторых расположены на расстоянии до 90—100 км восточнее. Такое несовпадение обусловлено рядом причин: 1) разное время эрозии перекрывающих отложений в прибортовых частях депрессии и неодновременное возникновение инфильтрационных латеральных потоков в рудовмещающих водоносных горизонтах; 2) различные суммарные проницаемость и водопроводимость комплексов мела и палеогена (у первых они в 1,5—2,5 раза выше); 3) различия в восстановительных свойствах пород, слагающих горизонты (в палеогеновых содержание S_{org} в 2—5 раз выше, чем в меловых).

Положение внутренней границы пластово-окисленных отложений дискуссионно. По нашему мнению, эта граница примерно соответствует внешнему контуру глинистых пород интымакского («чеганского») водоупорного горизонта, отвечающему положению границы между грунтово- и пластово-окисленными отложениями верхнего мела.

В отличие от Сырдарьинской урановорудной провинции, где в меловых горизонтах наряду с желтоцветными широко проявлены красноцветные ЗПО, в Чу-Сарысуйской депрессии зоны пластового окисления характеризуются преимущественно желтоцветно-белесым обликом.

Постседиментационные восстановительные изменения разделяются на несколько типов.

Широко распространены изменения, проявленные в первично или эпигенетически окисленных отложениях под слоями пород сероцветного геохимического типа. Впервые они были установлены на месторождении Уванас. Эти изменения чаще всего трактуются как экзодиагенетические, хотя известны случаи, когда их образование отделено от времени отложения пород, в которых они проявлены, длительными временными интервалами, связанными с перерывами в осадконакоплении (они часто называются «подперерывными»). Изменения данного типа отмечены в песчано-глинистых и гравийных образованиях инкудукского надгоризонта под сероцветными отложениями низов жалпакского надгоризонта, в верхах последнего — под аллювиальными сероцветными песками уванасского, в пестроцветных глинах верхов уванасского горизонта и т. д. Чаще всего они представлены глеевым, зеленоцветным

типом восстановления, реже сероводородным, с образованием сульфидной минерализации [8, 11, 37, 48].

Второй тип восстановительных изменений, широко распространенных в районе, либо связан с элизионными (эксфильтрационными) пластовыми процессами, протекающими в периоды тектонического покоя и замедления инфильтрационных окислительных процессов, либо обусловлен тектонической активизацией внутренних зон артезианского бассейна (например, воздыманием хр. Каратау). Эти изменения в депрессии носят глеевый характер. Известны случаи (Уванасское рудное поле), когда в зонах развития эпигенетического восстановления оказываются «захороненными» ураноносные зоны, сформированные на ранних этапах пластового окисления и «оторванные» от современных границ ЗПО.

Восстановительные изменения третьего типа локально проявлены в первично красноватых или эпигенетически окисленных породах и связаны с разгрузкой глеевых, сероводородных или углеводородных подземных вод, поступающих по зонам разрывных нарушений.

В Чу-Сарысуйской урановорудной провинции урановое оруденение кое-где отмечается в породах, испытавших дорудное эпигенетическое восстановление (по крайней мере, первых двух типов). Однако, как будет показано ниже, резко преобладает оруденение, локализованное в диагенетически восстановленных породах, где решающую роль в рудолокализации играет рассеянное углефицированное вещество растительного происхождения.

Закономерности размещения пластово-инфильтрационного оруденения и металлогеническое районирование Чу-Сарысуйской урановорудной провинции (см. рис. 2). Практически все промышленное урановое оруденение в провинции контролируется границами региональных ЗПО. Рудоносные фронты ЗПО в отложениях мела прослежены бурением на протяжении около 400 км (по прямой). Они объединяют систему границ окисления в мынкудакском, инкудакском и жалпакском горизонтах (Кенце-Буденновская металлогеническая зона).

В северной части депрессии, где пластовое окисление маскируется наложенными грунтовыми окислительными процессами, его граница прослеживается в северо-западном направлении вдоль зоны Кокшетауского (Идыгейского) разлома. Промышленное оруденение здесь установлено только в жалпакском горизонте. С учетом специфики структурно-геологической позиции оруденения в этой части металлогенической зоны выделяется Жалпакский урановорудный район. В его северной части расположено небольшое месторождение Каракоин, объединяющее два рудных участка — Каракоин и Кенце, а на юге находится промышленное месторождение Жалпак.

Далее на юг система региональных фронтов ЗПО в меловых горизонтах образует симметричную дугу, обращенную выпуклой

стороной на северо-запад, с протяженными близширотными и близмеридиональными «крыльями». Особенностью этого рудного района, названного Мынкудакским, является многоярусность промышленного оруденения, которое локализуется во всех трех меловых горизонтах, залегающих на многих стратиграфических уровнях. В близширотном «крыле» дуги региональных фронтов размещается уникальное месторождение Мынкудак, объединяющее несколько крупных рудных участков. Еще западнее и юго-западнее в дугообразной системе ЗПО выявлены новые рудные площади, находящиеся в стадии оценки и разведки (месторождения Инкай и Буденновское). В Мынкудакском УРР граница окисления, прослеживаемая в нижней части жалпакского горизонта, заметно отстала в своем развитии от фронтов окисления, проявленных в мынкудакском и инкудакском горизонтах. С ней связано небольшое месторождение Шолакэспе. Помимо названных рудных объектов в этом районе выявлено большое число рудопроявлений и проявлений минерализации, приуроченных к разным стратиграфическим уровням верхнего мела.

Подобные же различия в стратиграфической приуроченности оруденения наблюдаются и вдоль границ региональных ЗПО, развивающихся в палеогеновых горизонтах и образующих Уванас-Канжуганскую металлогеническую зону. В северной ее части (к северу от р. Чу), где эоценовые уюкский и иканский горизонты практически не развиты, промышленное оруденение локализовано только в позднепалеоценовом горизонте (месторождение Уванас, рудопроявления Тогускен, Чуйское и др.). Существенно глинистый интымакский (чеганский) горизонт в этом районе пока может рассматриваться лишь в качестве ураноносного. Таким образом, описанная часть Уванас-Канжуганской металлогенической зоны характеризуется определенными специфическими чертами, которые позволяют выделить ее в качестве самостоятельного Уванасского рудного района.

Заметно иначе выглядит южная часть зоны, где оруденение месторождений Моинкум, Канжуган и группы рудопроявлений локализуется в четырех горизонтах: уванасском (канжуганском), уюкском, иканском и в незначительной мере в интымакском. Данный район, выделяемый как Канжуганский, имеет также иную геотектоническую позицию: он располагается в суборогенной области неотектонической зональности (см. рис. 2).

Помимо рудных объектов ведущего для Чу-Сарысуйской провинции типа — месторождений региональных ЗПО, — здесь известно урановое оруденение и других урановорудных экзогенных формаций и прежде всего экзодиагенетической в лигнитоносных терригенных отложениях. К ним относится группа рудопроявлений в позднеценонских отложениях Северо-Сарысуйского прогиба, расположенного за пределами депрессии — в краевой части Казахского щита: месторождение Курай, рудопроявления Койюс, Сары-

су, Бюрбас, Женис и др., в кровле интымакских (чеганских) глин на правобережье р. Сарысу — Тосбулакская группа рудопроявлений, в четвертичных алевроито-глинистых отложениях — мелкое месторождение Барс в осадках пра-Чу в Канжуганском УРР и в четвертичных «чуйских торфяниках» в юго-восточной части депрессии.

Далее приведем описание отдельных урановых месторождений провинции.

Месторождения в позднемеловых отложениях (Кенце-Буденновская металлогеническая зона)

Месторождение Мынкудук

Месторождение находится в одноименном рудном районе Кенце-Буденновской металлогенической зоны, где оно охватывает близширотный участок рудоносных фронтов ЗПО на протяжении около 65 км. Рудоносная полоса месторождения тяготеет к юго-западному склону Уванасского вала, осложненному системой пологих антиклинальных поднятий (рис. 7).

Орографически Мынкудукское рудное поле расположено в западной части структурного плато Бетпак-Дала.

Восточный участок месторождения, где уже проводится промышленная эксплуатация, соединен автодорогой с расположенными на юге промышленными и транспортными центрами (Шымкент, Жамбыл, Туркестан и др.). С городами и населенными пунктами северной и северо-восточной частей региона месторождение связано грунтовыми дорогами. Через восточную часть рудного поля проходит нефтепровод Павлодар — Шымкент.

Месторождение открыто партией № 27 Волковской экспедиции в 1973 г. скважинами поисково-рекогносцировочного профиля V близмеридионального направления. По каротажу одной из первых буровых скважин, пройденных в зоне фронта окисления, было установлено всего лишь двухкратное превышение фона радиоактивности песчаных отложений в основании верхнемелового разреза. Последующими детализационными скважинами было выявлено кондиционное оруденение. В ходе поисково-оценочных работ, проведенных в 1973—1975 гг. на флангах рудоносной полосы, определились значительные масштабы месторождения, которые были подтверждены сначала его предварительной, а с 1977 г. детальной разведкой. В 1977—1979 гг. на Восточном участке месторождения совместно с комбинатом «Южнополиметалл» были успешно проведены натурные опытные работы по подземному выщелачиванию урана; окончательно определившие промышленную значимость этого уникального объекта. В 1981 г. отчет с подсчетом запасов по месторождению был защищен с отличной оценкой в ГКЗ СССР. К настоящему времени детальная разведка месторождения завершена.

Открытие Мынкудукского месторождения в самом начале пери-

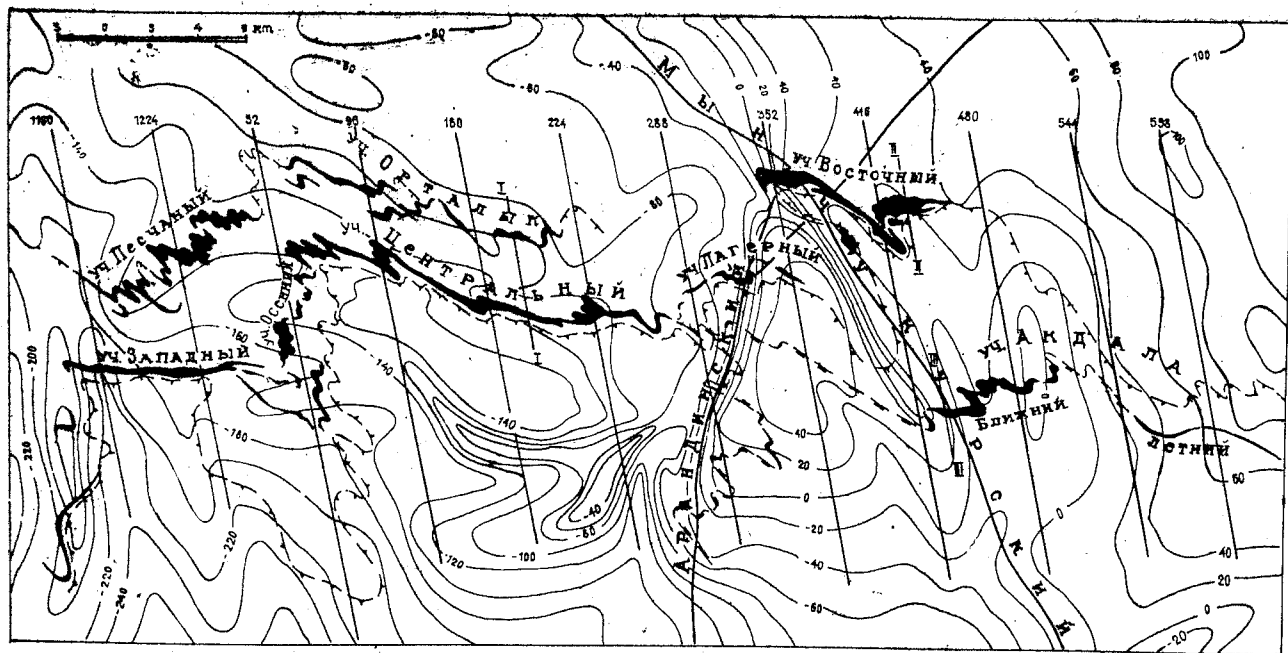


Рис. 7. План рудоносности месторождения Мыкдук на структурной основе: 1 — разведочные профили буровых скважин и их номера; 2 — зоны разрывно-флексурных нарушений; 3 — контуры урановорудных залежей; 4 — границы ЗПО в горизонтах: а — мыкдукском, б — индукском, в — жалпакском; 5 — изогипсы поверхности домезозойских отложений; 6 — линии геологических разрезов

ода систематических поисковых работ стало возможным благодаря разработке и внедрению новой поисковой концепции, основанной на представлениях о приуроченности уранового оруденения к региональным «ролловым» фронтам пластового окисления, не связанным с современными контурами Чу-Сарысульской депрессии и окружающих ее поднятий.

На месторождении пробурено около 2,5 млн м буровых скважин. Близширотные участки рудоносного фронта ЗПО в горизонтах мела разделяются несколькими резкими «изгибами» близмеридионального направления, которым соответствуют либо перерывы оруденения, либо контрастное изменение его морфологии (см. рис. 7). Указанные изгибы являются границами нескольких рудных участков, занимающих определенное структурное и стратиграфическое положение. В мынкудукском горизонте локализовано оруденение участков Восточного, Лагерного, Центрального, Осеннего и Западного, в инкудукском — Орталык и Песчаного, в жалпакском — Акдала. Выделенные участки могут рассматриваться и как самостоятельные месторождения, причем некоторые из них (Восточный, Центральный, Акдала) — как крупные объекты.

Геологические особенности. Складчатый фундамент на месторождении залегает на глубине 2—3 км. Он сложен терригенно-кремнистыми кембрийскими и ордовикскими образованиями, прорванными раннепалеозойскими интрузиями базитов и габбро-диоритов.

Промежуточный структурный этаж залегает под рыхлым чехлом на глубине от 220 м на востоке до 450 м на западе и представлен осадочным субплатформенным комплексом. В восточной части месторождения (участки Восточный, Акдала, Лагерный) под меловыми образованиями, в ядре Арандинского выступа, залегают красно- и пестроцветные песчаники, конгломераты, алевролиты и доломитизированные известняки бестюбинской свиты D_{2b} , а на крыльях — преимущественно сероцветные известняки, алевродиты, песчаники C_{1t} ; C_{1v1} ; C_{1v2-3} и C_{1n} , с размывом перекрытые джезказганской свитой C_{2-3zg} — красноцветные, с прослоями сероцветных разнозернистые песчаники и алевролиты, подчиненные прослоям конгломератов. На остальной площади рудного поля, под отложениями мела, распространены выветрелые (с поверхности) бурые и коричневые алевролиты, аргиллиты и песчаники жиделисайской свиты P_{1zd} .

Отложения позднего мела представлены всеми тремя горизонтами (надгоризонтами): мынкудукским (K_{2t1}), инкудукским ($K_{2t2}kp - Pg_1^1$) и жалпакским ($K_{2kp} - Pg_1^1$).

Мынкудукский горизонт (главный рудовмещающий горизонт на месторождении) сформировался в пределах алювиальной системы с северо-восточной и близмеридиональной ориентировкой

речных потоков. В горизонте отчетливо проявлены два цикла второго порядка, состоящие из двух-пяти элементарных циклов (ритмов). Обычно последние начинаются разнозернистыми песками с гравием и галькой и заканчиваются средне- и мелкозернистыми песками или глинами (алевропелитами). Местами элементарные циклы разделяются прослоями (плитами) плотных разнозернистых песчаников с базальным карбонатным цементом.

Нижний цикл (нижний подгоризонт) характеризуется особенно хорошо выраженной дифференциацией обломочного материала. В его составе широко проявлены сероцветные разнозернистые гравийные пески с галькой кварца и кремнистых пород (руслово-стречневые фации). Краевые фации русел представлены, средние и мелко-среднезернистыми песками, которым подчинены прослои и линзы старичных и пойменных сероцветных глин и алевропелитов. На приподнятых участках раннетуронского рельефа накапливались пестроцветные глины и алевропелиты, особенно широко развитые на Западном участке месторождения. Мощность нижнего подгоризонта варьирует от 15—20 м в восточной части месторождения до 35—40 м на Центральном и Западном участках.

Верхний цикл (подгоризонт) отличается от нижнего прежде всего уменьшением величины обломочного материала — резким преобладанием мелко-среднезернистых песков. Элементарные циклы в верхнем подгоризонте проявлены неотчетливо и по простираанию прослеживаются на короткие расстояния. Верхний цикл очень часто завершается прослоями (линзами) серых алевропелитов мощностью до 4—5 м, по кровле которых проводится верхняя граница мынкудукского горизонта. Мощность верхнего подгоризонта изменяется обычно в пределах 25—40 м, а мощность всего горизонта составляет от 30—40 м на Лагерном и Восточном участках до 60—70 м на остальной части рудного поля.

Инкудукский надгоризонт залегает на мынкудукском с размывом, с образованием на отдельных участках довольно глубоких (до 15—20 м) врезов. Он выделяется в целом более грубообломочным составом отложений и резким преобладанием зеленовато-белесых (первично красноцветных?) маложелезистых образований. Пески осветленной разности сероцветного геохимического типа распространены, по существу, только на рудоносных участках Орталык и Песчаный. На остальной площади месторождения рудоконтролирующая зона окисления выклинивается в зеленовато-белесых отложениях и не сопровождается урановым оруденением.

Как и в мынкудукском горизонте, в инкудукском выделяется несколько циклично построенных пачек, характеризующихся уменьшением величины обломочного материала снизу вверх по разрезу. В целом же в пределах рудного поля в инкудукском надгоризонте преобладают два основных типа разреза: первый, в котором 50—80% вертикального разреза составляют галечно-гравийные отложения и разнозернистые гравийные пески, и второй, где эти отло-

жения занимают не более 50% разреза, а преобладают (до 80%) мелко-среднезернистые разности песков. Первые образуют среди вторых потоковые формы близмеридионально-северо-западного направления.

Общая мощность инкудукского надгоризонта возрастает в западном направлении от 50—60 до 100 м.

Залегающий выше без видимого несогласия жалпакский надгоризонт образует единый осадочный макроцикл, в котором резко преобладают песчаные аллювиальные образования. Как уже отмечалось, верхняя, резко преобладающая по мощности часть надгоризонта подвергалась интенсивному воздействию процессов поверхностного и грунтового окисления дат-раннепалеоценового возраста (местами на всю мощность надгоризонта). В дальнейшем, под воздействием иловых вод эоценового моря, первично и эпигенетически окисленные породы жалпакского надгоризонта были восстановлены, с широким участием глеевых процессов, сопровождавшихся интенсивным выносом железа. При этом песчаные породы были в значительной мере осветлены, а залегающие в них глинистые прослои характеризуются реликтовыми малиново-красными и горчичными окрасками. Весьма типичны маломощные (до 1—2 м) прослои-плиты плотных полевошпат-кварцевых песчаников с базальным карбонатным цементом.

Сероцветные, с углефицированными растительными остатками, разнозернистые пески нижней части надгоризонта присутствуют неповсеместно. Наиболее широко они развиты в юго-восточной и южной частях рудного поля. Жалпакский надгоризонт является рудомещающим на участке Акдала.

Общая мощность надгоризонта на месторождении изменяется в пределах 50—70 м.

Отложения палеогена представлены уванасским, уюкским, иканским, интымакским (чеганским) горизонтами.

Граница распространения уванасского горизонта (Pg_1^2) пересекает рудное поле в северо-западном направлении, в районе Центрального участка месторождения. Горизонт выполнен характерными светло-серыми мелко-среднезернистыми песками, с углефицированным растительным детритом. Его мощность не превышает 10—12 м.

Уюкский и иканский горизонты ($Pg_1^2 - Pg_2^4$) распространены только в западной и юго-западной частях рудного поля. Они представлены существенно глинистыми отложениями, обычно темно-серыми в уюкском горизонте и серовато-зелеными в иканском. Их суммарная мощность возрастает на запад от линии выклинивания до 15—20 м.

Интымакский горизонт (Pg_2^{2-3}) распространен повсеместно и выражен преимущественно слоистыми серовато-зелеными и неслоистыми голубовато-зелеными (в средней части) глинами. Мощность

горизонта изменяется от 45—50 м на Восточном и Лагерном участках, до 80 м — на Западном.

Завершается разрез красно-бурными и кирпично-красными слабобкарбонатными глинами и глинистыми песками бетпак-далинской свиты ($Pg_3^3 - N_1^1$), разнозернистыми гравийными ржаво-желтыми песками и бурными карбонатными песчанистыми глинами тогускенской толщи ($N_1^2 - N_1^1$) общей мощностью до 40—70 м и маломощным покровом лёссовидных суглинков и супесей, а также локально развитыми четвертичными такыриными глинами и суглинками.

Тектоника месторождения (см. рис. 7). Мынкудук расположен в Сарысуйской моноклизе, осложненной системой локальных пологих поднятий типа брахиантиклиналей и «структурных носов». В восточной части рудного поля такие структуры сформировались в зоне северо-западного погружения древнего Тастинского поднятия, образуя в целом приподнятый блок с положительными гипсометрическими отметками подошвы меловых отложений. Он отделяется от остальной части месторождения зоной Арандинского разлома, где перепад высотных отметок подошвы чехла на расстоянии 500 м по горизонтали достигает 70—75 м. Узким прогибом в зоне северо-западного Мынчукурского разлома приподнятый блок разделяется на две части. К северо-востоку от зоны разлома обособляется очень пологое, неправильной формы поднятие, где находится Восточный участок месторождения. Западнее, в клиновидном блоке между Мынчукурским и Арандинским разломами, располагается брахиантиклинальная структура Лагерная, к северной части которой приурочена рудоносная зона одноименного рудного участка. На южном склоне приподнятого восточного блока размещается рудоносная полоса участка Акдала. Приподнятому блоку свойственно сокращение мощности всех горизонтов мелового разреза, что явилось отражением конседиментационного характера развития отнесенных структур месторождения.

Похожие, но более погруженные структуры (вверх по разрезу они «затухают», выполаживаются) наблюдаются и на остальной части рудного поля. Так, участок Осенний приурочен к поднятию в форме двух пологих «структурных носов», ориентированных в юго-западном направлении. На западном фланге месторождения откартирована антиклинальная структура Центральной близмеридиональной ориентировки, развивающаяся с позднего палеозоя.

Также конседиментационно, воздействуя на характер осадконакопления в туроне и сеноне, развивались разрывные нарушения. Установлено, что в мезозойско-кайнозойских отложениях проявлены (как правило, не на всем протяжении) только наиболее крупные нарушения, распространенные в подстилающих образованиях ПСЭ. Интенсивность проявления нарушений во всех случаях резко падает вверх по разрезу: если в мынкудукском горизонте они фиксируются сравнительно резкими изгибами слоев, а возможно, и разрывами сплошности последних со смещением, то в вышеле-

жащих горизонтах мела, а тем более палеогена, они выражены довольно пологими флексурами пластов. В неогеновых же отложениях разрывные нарушения практически не проявлены.

Важно подчеркнуть, что блоково-пликативные и разрывные нарушения на месторождении являются платформенными конседиментационными и во всех случаях дорудными.

Гидрогеологические и гидрогеохимические условия. При изучении данных условий использовались материалы, полученные по 320 гидрогеологическим скважинам (около 85 тыс. м). Эти условия теснейшим образом связаны с региональной позицией месторождения на высоком крыле Сузакского артезианского бассейна, за пределами областей проявления мощных «таласского» и «картауского» современных потоков подземных вод.

Отложения мезозойско-кайнозойского чехла на месторождении подразделяются на два гидрогеологических этажа: нижний, мел-палеогеновый, с напорными подземными водами и верхний, позд-неолигоценово-миоценовый, вмещающий линзы и слои грунтовых вод пестрого состава.

В составе нижнего, рудовмещающего, этажа выделяются два гидравлически связанных водоносных горизонта (мынкудукский и инкудукский) и один относительно изолированный — жалпакский. Величина напора на кровлю в мынкудукском и инкудукском горизонтах составляет от 96 до 170 м и от 70 до 145 м соответственно. Удельные дебиты скважин первого горизонта варьируют в пределах 0,5—1,9 л/с, второго — от 0,5 до 0,7 л/с. Коэффициенты фильтрации отложений мынкудукского и инкудукского горизонтов, по данным гидрогеологических откачек, изменяются от 3,7 до 13,1 м/сут и от 2 до 8 м/сут соответственно.

Напоры на кровлю жалпакского горизонта на участке Акдала возрастают с востока на запад от 17—49 до 75—103 м. Удельные дебиты изменяются в пределах 0,42—1,16 л/с. Значения проницаемости ($K_f = 4,1—9,1$ м/сут) и водообильности рудных песков существенно превышают аналогичные параметры безрудной верхней части горизонта (удельные дебиты 0,007—0,173 л/с, $K_f = 0,09—0,8$ м/сут).

Направление потоков подземных вод верхнемелового комплекса в целом близширотное — с востока на запад, с отклонениями в районе участков Центрального, Орталык и Песчаного на юго-западное и к югу от рудоносной зоны на северо-западное.

Химический состав вод (в целом сульфатно-хлоридный натриевый) и их общая минерализация в соответствии с особенностями региональной гидродинамики обнаруживают определенную зональность с последовательным возрастанием величины минерализации с юго-востока на северо-северо-запад.

В мынкудукском горизонте оруденение расположено преимущественно в зоне с общей минерализацией 5—6 г/л, за исключением Западного участка, где минерализация вод снижается до

3—5 г/л. Рудные залежи в инкудукском горизонте на участке Орталык локализованы вблизи и вдоль линии изоконцентрации 5 г/л, а на участке Песчаном интервал значений минерализации шире — от 4,6 до 5,5 г/л. Минерализация пластовых вод жалпакского горизонта на участке Акдала изменяется в пределах 4,0—5,6 г/л; pH пластовых вод в верхнемеловых горизонтах варьирует от 7,2 до 8,4.

Содержание урана в водах зоны пластового окисления в мынкудукском горизонте составляет преимущественно $(1,9—2,4) \times 10^{-5}$ г/л, в зоне эпигенетически неизмененных пород — $5 \cdot 10^{-7}—3 \cdot 10^{-6}$ г/л. В инкудукском и жалпакском горизонтах за пределами рудоносных зон концентрация урана в водах изучена недостаточно. Зато однозначно установлено повышение содержания урана в рудоносных зонах всех трех горизонтов, где оно очень часто находится в пределах $5 \cdot 10^{-5}—(2—5) \cdot 10^{-4}$ г/л, местами достигая $(1—2) \cdot 10^{-3}$ г/л.

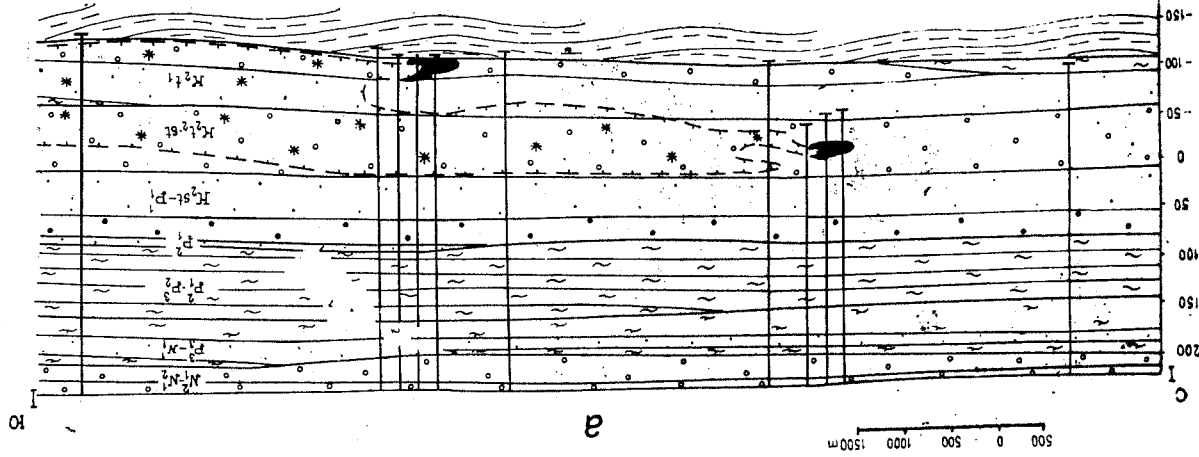
Еще более контрастно выглядит поведение радия, который в водах рудоносных зон мынкудукского и жалпакского горизонтов характеризуется повсеместно повышенными концентрациями — от $5,5 \cdot 10^{-11}$ г/л (принятое значение ПДК) до $1 \cdot 10^{-10}$ г/л, а на значительном протяжении (до 15 км) рудной зоны Центрального участка достигает $1 \cdot 10^{-10}—1 \cdot 10^{-9}$ г/л. В пределах довольно широкой (10—15 км) полосы вдоль рудоносной зоны в мынкудукском горизонте, охватывающей как пластово-окисленные, так и неокисленные песчаные отложения, содержание радия в водах изменяется от $1 \cdot 10^{-11}$ до $5,5 \cdot 10^{-11}$ г/л, а за ее контурами оно не превышает $n \times 10^{-12}$ г/л. Концентрация радона в воде по отдельным скважинам Центрального, Лагерного и Восточного участков составляет 22—45 эман.

Сопоставление особенностей гидродинамики, гидрогеохимической зональности месторождения и характера развития эпигенетической рудоконтролирующей зональности и оруденения в горизонтах верхнего мела не оставляет сомнения в том, что в целом они не адекватны, что первая по отношению ко второй является более поздней, наложенной.

Верхний гидрогеологический этаж представлен спорадически проявленным водоносным комплексом тогускенской толщи ($N_1^2—N_1^1$) и бетпак-далинской свиты ($P_{\text{г}}^3—N_1^1$). Линзы слабосолоноватых (1,1—4,9 г/л) грунтовых вод приурочены в основном к участкам современных такыров, аккумулирующих атмосферные и талые воды. Водоупором для этих вод служат линзы и прослои красноцветных глин.

Урановое оруденение. Месторождение Мынкудук, приуроченное к близширотной части системы рудоносных фронтов ЗПО, в целом характеризуется простой морфологией рудных залежей в плане, выдержанностью их контуров по простиранию. В этом отношении оно существенно отличается от месторождений, находящихся

Рис. 8. Позиция уранового руднения на месторождении Мынкудук в поперечных геологических разрезах по линиям: а — I—I, б — II—II, в — III—III; 1 — мезозой-кайнозойские отложения; 2 — песчано-гравийные породы; 3 — разноезернистые пески; 4 — средние-мелкозернистые пески; 5 — глинистые слои; 6 — глинистые известковые; 7 — палеозойские аргиллиты и алевролиты; 8 — граниты ЗНО; 9 — урановое руднение; 10 — лимонитизация; 11 — буровые скважины

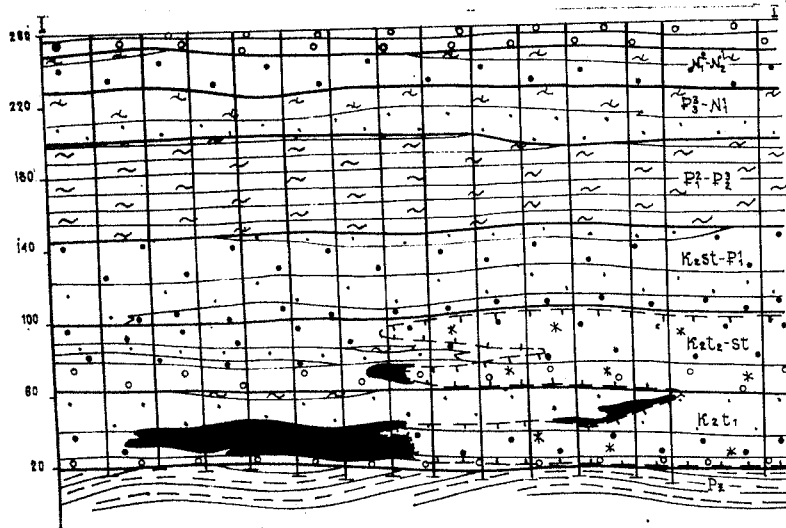


100 0 100 200 300 m

5

Ю

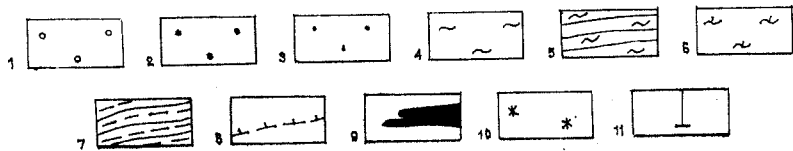
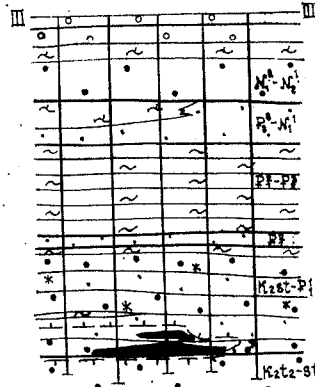
С

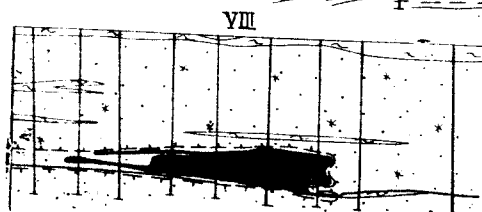
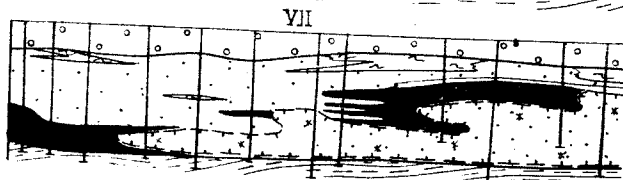
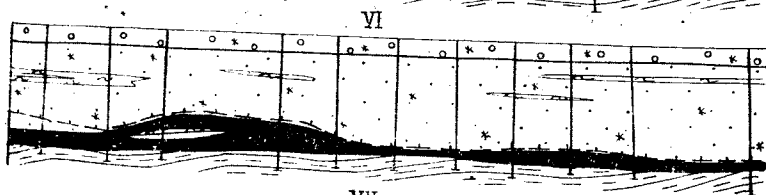
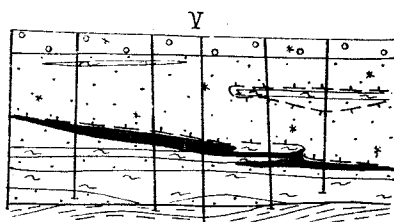
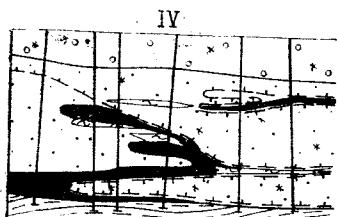
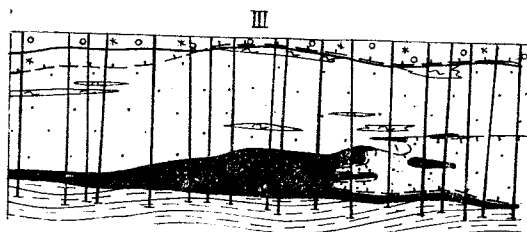
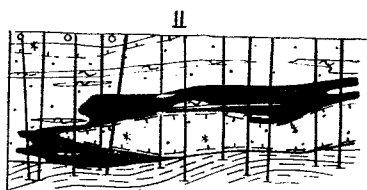
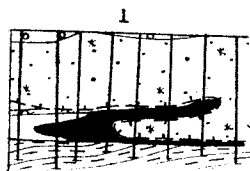


6

Ю

С





в зонах активного влияния молодых орогенных сооружений (Канжуган, Моинкум в Чу-Сарысуйской урановорудной провинции, Северный и Южный Карамурун — в Сырдарьинской).

Главным рудоконтролирующим фактором является приуроченность уранового оруденения к границам региональных ЗПО.

В Мынкудукском районе эпигенетическое окисление в разрезе верхнемеловых отложений развивается в виде двух мощных многослойных пластовых зон, одна из которых (нижняя) приурочена к мынкудукскому и инкудукскому горизонтам, а другая (верхняя) — к жалпакскому (рис. 8).

Оруденение повсеместно, за исключением участка Акдала, связано с нижней зоной, выклинивание которой имеет в разрезе кулисообразный характер. Один из резких «уступов» ЗПО наблюдается в разрезе мынкудукского горизонта, причем в нижнем подгоризонте вследствие его относительно более высокой проницаемости обособляется самостоятельный, выступающий вперед до 0,8—1 км язык ЗПО, который контролирует рудные залежи роллового типа. Далее на северо-северо-запад зоны окисления развиваются в верхней части мынкудукского и в инкудукском горизонтах, выклиниваясь обычно в средней части последнего.

Линейно-ступенчатый характер конфигурации рудоносной полосы в плане обусловлен конседиментационными блоково-пликативными структурами, определяющими взаимоотношение пород с различной водопроницаемостью и в итоге контуры рудоконтролирующих границ ЗПО. Установлено, в частности, что опережающие языки рудоносного фронта окисления, как правило, повторяют контуры положительных структур (Восточный, Лагерный и Осенний участки). Следует также подчеркнуть, что более высокопродуктивные части рудных залежей обычно приурочены к северо-восточным границам ориентированных на северо-запад языков ЗПО и к их выпуклым окончаниям, для которых в вертикальных разрезах характерны удлиненные мешковые части роллов и хорошо выраженные крылья, особенно верхние. Продуктивность юго-западных границ языков окисления существенно ниже (часто с ними связа-

Рис. 9. Основные морфологические типы рудных залежей месторождения Мынкудук: 1 — гравийно-песчаные отложения; 2 — пески; 3 — водоупорные отложения (глины, алевролиты и их разновидности); 4 — верхнепалеозойские алевролиты; 5 — окисленные отложения; 6 — граница зоны пластового окисления; 7 — рудные тела; 8 — буровые скважины.

Морфологические типы залежей: I — простой ролл с развитыми элементами (мешковой частью и обоими крыльями); II — простой ролл с развитым верхним и неразвитым нижним крыльями; III — простой ролл с удлиненной мешковой частью; IV — сложные тела типа «обращенных роллов» и «останцовые» рудные линзы; V — линзообразные и клиновидные тела в нижней части мынкудукского горизонта; VI — рудные линзы, приуроченные к неокисленным отложениям в основании мынкудукского горизонта (в тылу роллов); VII — сложные (сдвоенные и строенные по вертикали) роллы; VIII — «мешковые» формы на участках «ступога» замыкания слоя неокисленных сероцветных песков среди пластово-окисленных

ны перерывы в балансовом оруденении, например, между Восточным и Лагерным, между Лагерным и Центральным участками).

В плане рудные залежи представлены протяженными слабоизвилистыми лентами, связанными с границей полного выклинивания ЗПО, с замыканием обособленных языков окисления в инкудукском и мынкудукском горизонтах (см. рис. 7).

На участке Акдала оруденение тяготеет к южной границе эпигенетически неокисленной части слоя сероцветных песков вблизи основания жалпакского надгоризонта. Границы рудных залежей определены по данным каротажа и опробования керна по заданному кондициями бортового содержанию урана — 0,01 %.

В поперечных разрезах рудные залежи, как правило, состоят из нескольких морфологических элементов (рис. 9): главного роллового тела, приуроченного к выклиниванию рудоконтролирующих языков ЗПО, и сателлитных тел, зачастую отторгнутых в процессе развития окисления элементов главного тела — останцов верхнего или нижнего крыла или соседнего (по вертикали) ролла. Такие рудные тела располагаются обычно в тылу ролловых тел, отделяясь от них интервалами безрудных пород. Кроме того, в виде отдельных морфоэлементов залежей обособляется оруденение, связанное с фильтрационными «окнами» и «каналами». Ролловые тела весьма разнообразны (рис. 9).

Всего на месторождении выявлено около 30 рудных залежей, 16 из которых локализируются в мынкудукском горизонте. Наиболее крупные из них — № 1, 2 на Восточном участке, № 8, 10 — на Центральном (мынкудукский горизонт), № 16 — на участке Орталык, № 17 — на участке Песчаном (инкудукский горизонт), № 19 — на участке Акдала (жалпакский горизонт).

Протяженность названных залежей достигает 15—20 км (по магистрали), ширина варьирует от 50 до 400—500 м, а в отдельных раздувах достигает 1,7 км (залежь № 1). Мощность 2—10 м в крыльях, 20—25 м (местами более) в мешковых частях роллов.

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

Глубина залегания подошвы рудных залежей изменяется от 175 до 240 м для оруденения в инкудукском горизонте (участки Орталык и Песчаный) и 205—430 м в мынкудукском горизонте (увеличиваясь с востока на запад).

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

На месторождении Мынкудук данная зональность обладает определенными специфическими чертами (рис. 10).

Специфика выделенных эпигенетических зон 1 и 2 тесно связа-

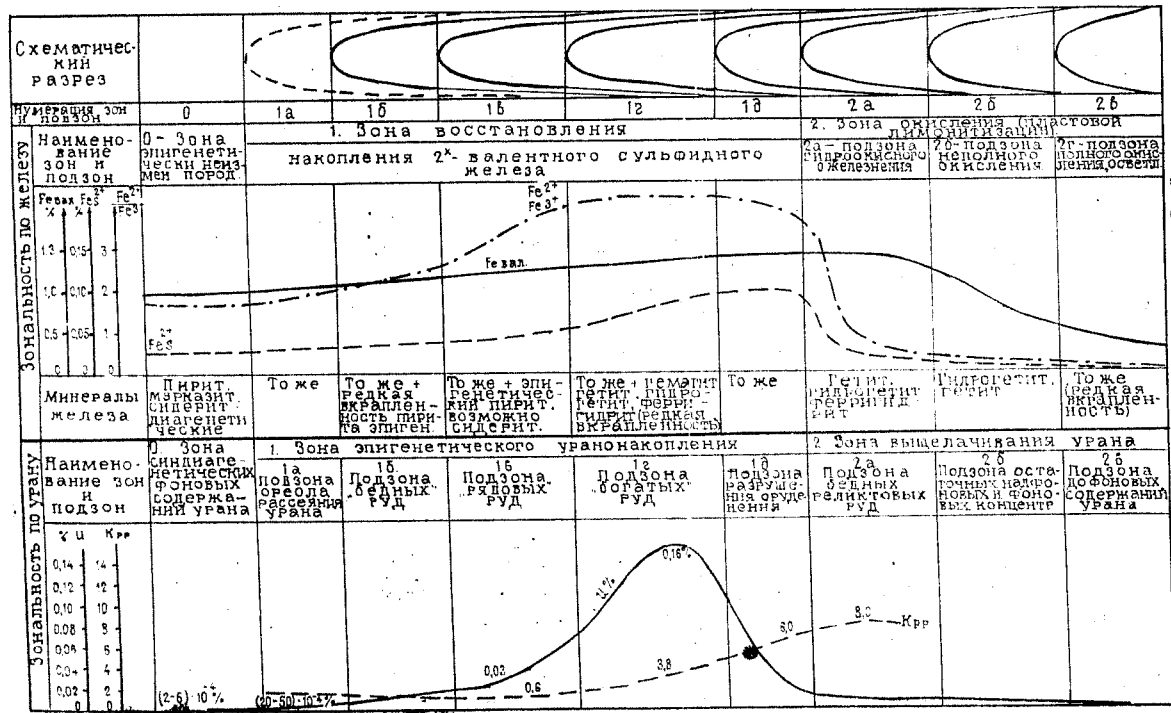


Рис. 10. Рудоконтролирующая эпигенетическая зональность на урановых месторождениях Чу-Сарысуйской рудной провинции

на с литолого-геохимическими особенностями зоны 0, представленной в общем виде высокопроницаемыми отложениями с низким (0,04—0,05%) содержанием $C_{орх}$, маложелезистыми (обычно менее 1% валового железа), с незначительной (0,01—0,02%) долей сульфидного железа. В соответствии с этими чертами песчаные породы подзоны полного окисления (2в), как правило, характеризуются белесой окраской и почти полным отсутствием гидроокислов железа (содержание $Fe_{вал}$ 0,1—0,2%). Эта подзона развита преимущественно за пределами месторождения, на котором широко проявлена подзона неполного окисления (2б). Последней свойственны остаточные ореолы ряда рудных элементов — Co, Ni, Cu, Mo, Zn, Mn. В ней отмечается точечно-пятнистая гетит-гидрогетитовая минерализация, граница ее с подзоной полного окисления условна.

Подзона гидроокисного ожелезнения (2а) выделяется в виде бордюра шириной до 10 м и более возле границы с нелимонитизированными породами. Для нее характерно увеличение $Fe_{вал}$ (до 2,5%) и пятнистое, редко сплошное проявление гетита, гидрогетита, ферригидрита. Концентрация урана в этой подзоне нередко достигает 0,01—0,02%, величина коэффициента радиоактивного равновесия (до 7—8) указывает на резкий избыток радия. Подзоне свойственны максимальные концентрации Se (0,0n—0,n %), иногда Mn.

Зона восстановления (сульфидообразования) одновременно представляет собой зону эпигенетического уранонакопления (зона 1). Она начинается подзоной передового ореола рассеяния урана (1а), который ввиду высокой проницаемости отложений и их в целом незначительной восстановительной способности проявлен необычайно широко (возможно, более чем на 3—5 км). Далее следуют три подзоны собственно урановых руд — «богатых», «рядовых» и «бедных», границы между которыми устанавливаются, как правило, только по данным каротажа и опробования керна. Только подзона «богатых» («барьерных») руд визуально иногда выделяется более темной окраской. Она характеризуется максимальной концентрацией урана и его минералов, а также Ni, Co, Zn, Cu, V, Ag, Be. От зоны пластового окисления эта подзона обычно отделена интервалом резкого снижения концентраций урана (часто до забалансовых) и смещения радиоактивного равновесия в сторону избытка радия. Данный интервал выделяется как «подзона разрушения» (1д), которая соответствует «подзоне пробега» на месторождениях Центрально-Кызылкумской провинции.

Попутные компоненты и их распределение в рудоконтролирующей зональности. Помимо урана на окислительно-восстановительном и щелочно-кислотном барьерах в рудовмещающих горизонтах месторождения обнаружены повышенные концентрации целого ряда элементов: Se, Re, Mo, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Ge, S, P, Ba, Li, Be, Nb, W, Y, Yb, V, Mn, Fe, Ca.

Как и на других месторождениях рассматриваемой рудной формации, наиболее устойчивым спутником урана является селен.

Его концентрации (от 0,01 до 0,06%, редко до 0,1—0,2%) отчетливо тяготеют к передовой части ЗПО (подзоне ожелезнения), причем именно здесь всегда отмечаются максимальные значения. Определенная часть селеновой минерализации приурочена к подзонам разрушения уранового оруденения и «богатых руд». По статистике 58,4% проб с содержанием селена $\geq 0,01\%$ отобрано из лимонитизированных песчаных пород, 16,7% — из сероцветных песков зоны оруденения, 7,2% — из неокисленных безрудных песков, 17,7% — из непроницаемых глинистых пород на границе с окисленными песками. В рудоносных зонах концентрации селена $\geq 0,01\%$ образуют непротяженные (редко более 200 м) линзы мощностью от первых десятков сантиметров до первых метров, как правило, не совпадающие с контурами урановых рудных тел (рис. 11), причем почти 75% проб с содержанием селена $\geq 0,01\%$ приходится на Западный и Осенний участки.

В связи с этим, а также поскольку технологические линии добычи урана и селена способом ПВ не совпадают (селен извлекается с применением сильных окислителей), можно заключить, что селеновое оруденение на месторождении Мынкудак практического интереса не представляет.

В начале 80-х гг. в отдельных рудных залежах (№ 1, 10) были установлены повышенные концентрации рения. В дальнейшем, после того как было подтверждено, что рений извлекается совместно с ураном сернокислотным способом ПВ, он стал рассматриваться в качестве ценного попутного компонента и на втором этапе разведки стал систематически изучаться по частным и групповым пробам (сначала с пределом чувствительности спектрохимического анализа 0,5, затем 0,2—0,1 г/т). Полученные результаты таковы:

1. Концентрации рения распределены неравномерно на месторождении: наиболее заметно им обогащены урановорудные залежи, локализованные в жалпакском горизонте на участке Акдала (залежи № 19—21). Более бедные содержания рения установлены в рудных телах, приуроченных к мынкудакскому горизонту (залежь № 10). В мынкудакском надгоризонте участков Орталык и Песчаный выявлены лишь весьма незначительные, спорадически проявленные повышения концентрации рения.

2. Рений в основном концентрируется в контурах уранового оруденения (см. рис. 11): 89% проб с содержанием более 0,5 г/т в залежи № 10 Центрального участка и 90,3% таких проб на участке Акдала отобраны из контуров урановых рудных тел и только 10,9 и 9,7% соответственно приходится на подзону передового ореола рассеяния урана.

3. В пределах урановорудных залежей обнаруживается тесная связь повышенных рениевых концентраций с наиболее обогащенными ураном участками. Два таких рениевых тела околонтурены (по содержанию 0,5 г/т) в мынкудакском горизонте в урановорудной залежи № 10: одно протяженностью 1,5 км, шириной 25—

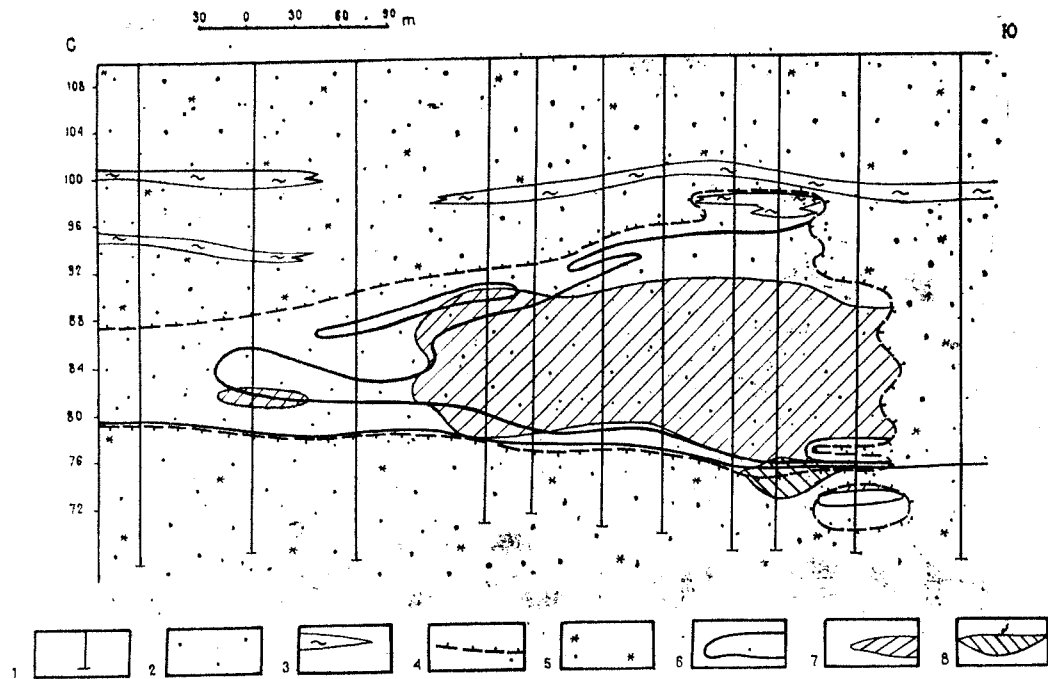


Рис. 11. Распределение рения и селена в поперечном разрезе рудных залежей на участке Акдала (соотношение горизонтального и вертикального масштабов 5:1): 1 — буровые скважины; 2, 3 — литологический состав: 2 — пески, 3 — прослой и линзы глин; 4 — граница ЗПО; 5 — окисленные отложения; 6 — контур уранового оруденения ($\geq 0,01\%$); 7 — ренийносные тела ($\geq 0,2\%$ /т Re); 8 — селеновое оруденение ($\geq 0,01\%$ Se)

250 м, с максимальным содержанием по пересечению 1,41 г/т — в интервале профилей 748—728, другое (соответственно 0,4 км, 25—100 м, 0,95 г/т) — между профилями 680—676. На участке Акдала рением неравномерно обогащены практически все урановорудные залежи. В залежи № 21 в контуре изолинии 0,5 г/т выделяется рениеносное тело в интервале профилей 696—680/1. Его протяженность 2 км, ширина до 50 м, максимальное содержание рения по пересечению 3,1 г/т. Залежь № 20 рениеносна в восточной части на протяжении 2,5 км при ширине до 1000 м, с максимальным содержанием по пересечению 1,28 г/т. В залежи № 19 выделяется несколько таких тел длиной до 1 км, шириной до 350 м и средним содержанием рения 0,93 г/т. Контуры с содержанием рения 0,2 г/т на участке Акдала практически совпадают с границами урановорудных залежей.

4. Концентрации рения, как правило, связаны с диагенетически восстановленными песками и сероцветными глинами, причем максимальные их содержания приурочены к прослоям, обогащенным углефицированным растительным детритом, где рений находится в ассоциации с Mo, Ge, иногда с Y, Se, Ag, Co. В глинистых прослоях, обогащенных углистой органикой, содержание рения по ряду проб достигает 14,2—68,5 г/т (мощность до 0,5 м). В песчаных отложениях они обычно ниже, но при этом многие участки залежей достаточно высоко продуктивны, например, по скважине № 9870 на профиле 678 Центрального участка среднее содержание рения составляет 1,17 г/т на мощность 9,1 м, на участке Акдала известны пересечения со средним содержанием до 3,74 г/т на мощность 11,8 м (скв. № 11270, проф. 480).

Таким образом, руды отдельных участков (Акдала) и залежей месторождения могут быть отнесены к комплексным — рениевоурановым.

На втором этапе разведки на месторождении систематически изучались концентрации и других рассеянных редких элементов: скандия, иттрия, редкоземельных.

Скандий накапливается в практически значимых концентрациях (первые сотые доли миллиграмма на литр) в эксплуатационных сернокислотных растворах, получаемых при выщелачивании урана. Его концентрации в рудных залежах месторождения характеризуются фоновыми значениями, свойственными мел-палеогеновым отложениям Чу-Сарысуйской урановорудной провинции. Средние содержания скандия изменяются от 2,8 г/т (залежь № 19 в жалпакском горизонте участка Акдала) до 4,8 г/т (залежь № 14 в мынкудукском горизонте участка Осенний). При этом его концентрации закономерно возрастают от крупнозернистых песчаных разностей к мелкозернистым, достигая максимальных значений (21,1 г/т при среднем 13,8 г/т) в непроницаемых глинистых породах. Изменения концентраций скандия в ряду рудоконтролирующей эпигенетической зональности не наблюдается. Таким образом, он

Таблица 3. Минералогическая эпигенетическая зональность на выклинивании

Показатели	0-зона эпигенетически неокисленных пород	I — зона эпигенетического	
		Ia — подзона сорбционных неминеральных форм	Iб — подзона начального минералообразования
1	2	3	4
Минералы урана, параметры кристаллической структуры	—	—	Настуран ($a_{cr} < 5,36 \text{ \AA}$), коффинит
Текстура урановых руд	—	—	Крайне дисперсная
Размеры минеральных выделений, мк	—	$< 0,001$	$0,001-0,3$ (микролиты)
Концентраторы урана, способ концентрации	—	Начальное образование твердой фазы коллоидного раствора в микро- и мезопорах породы	Сегрегация и накопление твердой дисперсной фазы в поровом пространстве глинисто-алевритового заполнителя песков
Сопутствующие эпигенетические минералы	—	Пирит?	Пирит

может быть отнесен к элементам с неясными условиями миграции и накопления на геохимических барьерах.

Иттрий и редкоземельные элементы. В ураново-рудной массе залежей, локализованных в мынкудукском горизонте, сумма редкоземельных элементов, включая иттрий, составляет в среднем 100,5 г/т (в том числе иттрий — 22,5 г/т), в рудах жалпакского горизонта на участке Акдала их значения равны 90,9 и 19,3 г/т соответственно. Концентрации иттрия и редкоземельных элементов в песчаных и глинистых разновидностях пород сопоставимы, хотя в последних они несколько выше (например, для иттрия 18,2 г/т против 13,7). В профиле эпигенетической зональности закономерности локализации редкоземельных элементов и иттрия не определены; отмечается, правда, небольшой дефицит их в зоне окисления и незначительное (до 5—10 %) накопление в зоне оруденения. Как и скандий, эти элементы извлекаются в продуктивные растворы в процессе добычи урана сернокислотным способом ПВ.

Что касается сопутствующих урану элементов, то они представляют главным образом геохимический и, вероятно, экологический интерес. Возможность и целесообразность попутного извлечения их из руд должны оцениваться в процессе эксплуатации месторождения.

зона пластового окисления на месторождении Мынкудук (по Л. С. Петровой)

минералообразования

Iв — подзона накопления урановой минерализации	Iг — подзона обогащения	Iд — подзона начального разрушения
5	6	7
Настуран ($a_{cr} = 5,36-5,39 \text{ \AA}$), коффинит Дисперсная, дисперсно-вкрапленная 0,001—1,0 (микролиты, глобули) То же + проникновение в углистый детрит, высачивание на поверхностях минералов, обломков пород Пирит, сфалерит, сидерит	Настуран ($a_{cr} = 5,36-5,43 \text{ \AA}$), коффинит Вкрапленная, гнездово-вкрапленная 0,001—10,0 (микролиты, глобули) То же + замещение глинисто-алевритового заполнителя, углистого детрита, лейкоксенов Пирит, сфалерит, селен самородный, ферроселит, радийсодержащие лейкоксены, кальцит, сидерит	Настуран? (параметры не определены), коффинит Дисперсная, вкрапленная ? Растворение и вынос минералов; реликты настурана, коффинита Пирит, селен самородный, радиобарит, радийсодержащие лейкоксены, гетит, гидрогетит

Минералогический состав оруденения. Урановые руды от рудовмещающих пород, как правило, визуально не отличаются, за исключением их относительно богатых разновидностей с видимой урановой минерализацией. Наибольший интерес по своим фильтрационным свойствам представляют оруденелые песчано-гравийные отложения и мелко-среднезернистые пески. Обломочный материал состоит из кварца (70—86%, иногда до 92%), полевых шпатов (7—18%), обломков кремнистых пород, мусковита и биотита, углистого детрита, желваков песчаников с пиритовым, реже сидеритовым и баритовым цементом. Акцессорные минералы (в среднем 0,1%): ильменит, лейкоксен, турмалин, ставролит, гранат, андалузит, циркон, дистен, апатит, в единичных знаках — рутил и сфен. Поровым заполнителем служит рыхлый каолинит-монтмориллонитовый глинисто-алевритовый материал (5—20%), в котором значительное место принадлежит тонкодисперсному (меньше 0,05 мм) кварцу.

Содержание урана в различных гранулометрических классах закономерно возрастает по мере уменьшения размера обломочного материала, достигая максимальных значений (26—60%, в среднем 50% от содержащегося в пробе) в глинисто-алевритовом классе.

Руды месторождения характеризуются дисперсной и тонко-

Продолжение табл. 3

Показатели	2 — зона растворения и выщелачивания урановой минерализации		
	2а — подзона реликтовых минеральных и сорбиционных форм	2б — подзона спорадических сорбиционных форм концентрации	2в — подзона полного растворения и выщелачивания минерализации
7	8	9	10
Минералы урана, параметры кристаллической структуры	Остаточные минералы (не определены) в неполностью окисленных участках пород	—	—
Текстура урановых руд	?	—	—
Размеры минеральных выделений, мк	?	—	—
Концентраторы урана, способ концентрации	Растворение, вынос, частично сорбция гидроокислами железа и слюды с минералами, реликты настурана и коффинита в обломках породы	Спорадические реликтовые сорбиционные формы в гидроокислах железа, слюди, глинистых минералах, лейкоксенах	—
Сопутствующие эпигенетические минералы	Гетит, гидрогетит, ферригидрит, радиобарит, селен самородный, руды содержащие лейкоксены, пиролюзит	Гидрогетит, гетит, пиролюзит	—

вкрапленной текстурой, интерстициальной (рядовые руды) или цементной (богатые руды) структурой, определяемой размещением урановых минералов в интерстициях (порах) обломочных пород. В оруденелом растительном детрите наблюдаются псевдоморфно-флюидные микроструктуры.

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

Диагностика урановых минералов, образующих дисперсные,

«землистые», массы, которые раньше определялись как «урановые черни», стала возможной благодаря применению рентгено-структурного анализа и электронной микроскопии.

Макроскопически настуран и коффинит — черные мягкие сажистые минералы, образующие дисперсную вкрапленность в глинисто-алевритовом заполнителе песков, корочки на терригенных зернах, обособления в микротрещинах и в порах этих зерен. Редко, в богатых рудах, они образуют в рудном песке гнезда с базальным цементом, иногда полностью замещают обугленную растительную органику.

В проходящем свете настуран и коффинит часто неотличимы от сажистого растительного детрита. В отраженном свете они темно-серые, с низкой отражательной способностью, изотропные. На электронно-микроскопических фотоснимках (ув. 10 000 и более), как правило, обнаруживается микрокристаллическое строение агрегатов урановых минералов. Микрокристаллы настурана характеризуются глобулярной (от 0,001 до 1—10 мк), а коффинита — веретеновидной, реже бочонковидной и близкой к шаровидной формами. Две последние формы свойственны коффиниту из руд жалпакского горизонта (участок Акдала), где они трудно отличимы от форм настурана.

Л. С. Петрова [39] установила и изучила на месторождении закономерный зональный ряд минералообразования, соответствующий эпигенетической рудоконтролирующей окислительной зональности (табл. 3). Этот ряд характеризует процесс от зарождения урановых минералов до их накопления и разрушения. В результате его происходит увеличение размера минеральных индивидов, совершенствование их кристаллической структуры, изменение текстуры руд от крайне дисперсной до гнездово-вкрапленной, видов концентраторов и формы концентрации урана.

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

Как уже отмечалось, руды в основном монометалльные, но ряд рудных залежей (а участок Акдала — и в целом) могут считаться комплексными — реннито-урановыми.

В рудах отмечается низкое содержание $\text{C}_{\text{орг}}$, существенно влияющего на кислотоёмкость пород: средняя его концентрация в песчаных и гравийно-песчаных разностях руд по всем залежам составляет первые сотые доли процента (обычно до 0,04—0,05 %). Руды

* Традиционное разделение руд — применительно к горному способу отработки.

Таблица 4. Среднее содержание минералов (об. %) в рудах

Минералы	Горизонты		
	мынкудак-ский	инкудакский	жалпакский
<i>Нерастворимые</i>			
Кварц	65,01	71,96	74,45
Обломки кремнистых пород	14,05	12,55	6,21
Акцессорные	0,03	0,06	0,10
Итого	79,09	84,57	80,76
<i>Труднорастворимые</i>			
Полевые шпаты	12,43	7,60	10,68
Мусковит, биотит	1,47	1,69	0,95
Каолинит	3,35	3,27	3,65
Монтмориллонит	2,72	2,20	2,16
Лимонит (гетит, гидрогетит)	0,21	0,14	0,70
детрит			
Углефицированный растительный	0,05	0,04	0,07
Итого	20,23	14,94	18,21
<i>Растворимые</i>			
Настуран	0,04	0,01	0,02
Коффинит	0,01	0,03	0,05
Кальцит, сидерит	0,38	0,19	0,23
Пирит, марказит	0,25	0,26	0,73
Итого	0,68	0,49	1,03
Всего	100,00	100,00	100,00

маложелезистые: среднее содержание валового железа обычно не более 1%. Концентрация сульфидного железа, представляющего собой при отработке руд сернокислотным способом полезную примесь, низкая — 0,1—0,5%.

Полезные компоненты руд представлены легко растворимыми в сернокислотных растворах минералами, к тому же локализованными среди основной массы нерастворимых и труднорастворимых минералов (табл. 4).

По степени проницаемости руды подразделяются на четыре литолого-фильтрационных типа: I — песчаный, гравий с примесью гальки, II — гравийные разнотерные пески, III — мелко-среднезернистые пески, IV — алевроито-глинистые (водоупорные) породы — технологически забалансовые руды. Для мынкудакского горизонта отмечается преобладание суммы типов I и II над типом III либо их примерное равенство. В инкудакском горизонте главенствуют высокопроницаемые руды типов I и II, а в жалпакском 61—77% запасов локализовано в рудах типа III.

К важным геотехнологическим показателям месторождения Мынкудак относится положение рудных залежей относительно водоупоров, особенно нижнего. Разведочные работы показали, что 84% площади главных рудных залежей (№ 8, 10, 14) в мынкудакском горизонте залегает вблизи нижнего водоупора (менее 10 м от него), при этом почти 70% непосредственно на нем. Рудные залежи, приуроченные к инкудакскому и жалпакскому надгоризонтам, подстилаются невыдержанными линзующими ее водоупорами.

Приведенные геотехнологические показатели рудных залежей характеризуют их как вполне пригодные для отработки способом ПВ. Этот вывод подтвержден лабораторными и натурными (полевыми) испытаниями по подземному выщелачиванию, а также результатами промышленной добычи урана, которая осуществляется на Восточном участке месторождения. Бурением контрольных скважин на опытном участке ПВ было установлено, что извлечение урана из руд в контурах полигона составило 81,4%.

Месторождение Инкай

Инкай — крупнейшее пластово-инфильтрационное месторождение в Казахстане и СНГ. Оно расположено в Мынкудакском рудном районе, где контролируется передовой частью гигантской дуги, которую образуют региональные рудоконтролирующие фронты пластового окисления в проницаемых горизонтах верхнего мела. Рудоносные зоны месторождения прослеживаются с северо-востока на юг на расстояние около 55 км при их общей ширине от 7 до 17 км. На северо-востоке Инкай отделяется от Мынкудака перерывом рудоносной полосы в районе антиклинальной структуры Центральной. Его южная граница (с месторождением Буденновским) находится в районе озерно-сорных котловин в низовье р. Чу.

Месторождение открыто в 1976 г. партией № 27 (начальник В. Н. Плеханов, главный геолог Н. Н. Петров) в ходе поисково-рекогносцировочного бурения. В 1979—1983 гг. была проведена его предварительная разведка, а в 1984—1991 гг. — первый этап детальной разведки, выполнявшейся специально созданной экспедицией № 7. В тот период был осуществлен натурный многоскважинный эксперимент по извлечению урана способом подземного выщелачивания и в результате подтверждена не только высокая рентабельность добычи урана этим методом, но и принципиальная возможность попутного извлечения из урановых руд других компонентов: скандия, рения, редкоземельных элементов. В 1995 г. на месторождении планируется строительство промышленного предприятия.

На месторождении выделяются Центральный участок, Северный и Южный фланги (рис. 12). По очередности разведочных работ на Центральном участке выделяется участок № 1, охватывающий главным образом рудную зону в мынкудакском горизонте, и зна-

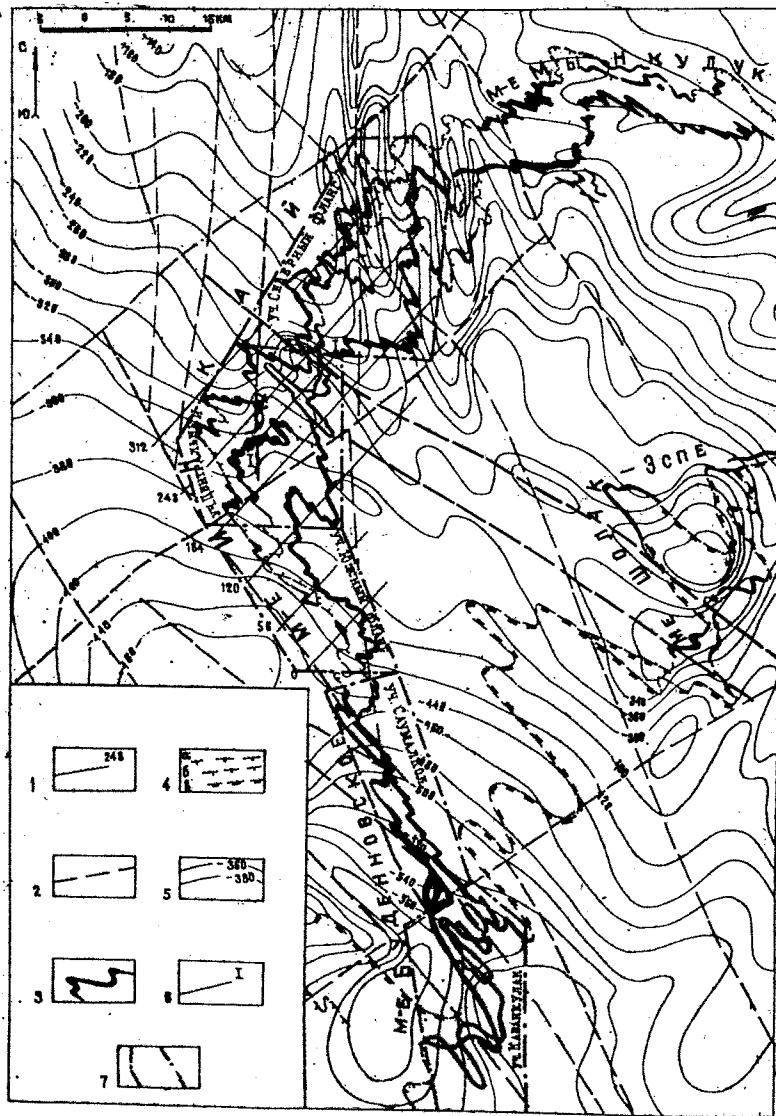


Рис. 12. План рудоносности месторождений Инкай и Буденновское (на структурной основе): 1 — разведочные профили буровых скважин и их номера; 2 — зоны разрывно-флексурных нарушений; 3 — контуры урановорудных залежей; 4 — границы зоны пластового окисления в горизонтах; а — мынкудукском; б — инкудукском; в — жаплакском; 5 — изогипсы поверхности домезозойских отложений; 6 — линия геологического разреза; 7 — контуры рудных участков

чительно больший по площади участок № 2 (остальная часть Центрального участка).

На первом этапе детальной разведки основная доля запасов промышленных категорий разведана по сети $(200-100) \times 50$ м на участке № 1. Там же расположен участок опытного подземного выщелачивания. Участок № 2 разведывался преимущественно по сети 800×50 м, а на втором этапе — по сети 200×50 м; Северный и Южный фланги месторождения опойскаваны по сети $(3200-1600) \times (800-50)$ м и частично по сети 800×50 м. Всего на месторождении пробурено около 3 млн м буровых скважин.

Геологическое строение. ГМС (складчатый фундамент) на месторождении залегает на глубине до 2—3 км и представлен терригенно-кремнистыми кембро-ордовикскими образованиями.

В основании мезозойско-кайнозойского чехла повсеместно залегают средне-позднепалеозойские субплатформенные осадочные толщи литифицированной части осадочного слоя главным образом красноватых джезказганской ($C_{2-3}dz$) и жиделисайской (P_{1zd}) терригенных свит, а также сероватой кенгирской карбонатно-терригенной свиты ($P_{1-2}kn$). Указанные образования накопились преимущественно в Кокпансорском средне-позднепалеозойском прогибе.

Разрез мезозойско-кайнозойских отложений начинается пестроцветными, достаточно плотными гравийно-песчано-глинистыми образованиями, локализованными в понижениях поверхности средне-позднепалеозойского этажа предположительно сеноманского возраста. Рудовмещающий комплекс представлен мынкудукским и инкудукским горизонтами верхнего мела.

Мынкудукский горизонт (K_2t_1) вполне соответствует его описанию, приведенному для месторождения Мынкудук. В раннем туроне площадь рассматриваемого месторождения являлась фрагментом аллювиальной системы, ориентированной с северо-северо-востока на юго-юго-запад. В вертикальном разрезе отчетливо проявлена закономерная смена литолого-фациальных условий, выраженных в составе и геохимическом типе отложений: внизу руслово-стречневых разнозернистых песков с включением гравия и гальки, выше — отменно-русловых среднезернистых песков, в верхней части — средне-мелкозернистых песков с прослоями пойменно-старичных глин и луговых песчаных алевропелитов. Мощность горизонта возрастает с северо-востока на юго-запад с 30—40 до 70—90 м.

Инкудукский надгоризонт (K_2t_2-st) подразделяется на три пикла: нижний (мощность 30—35 м), средний (55—60 м) и верхний (25—35 м). В составе нижнего цикла преобладают зеленовато-серые галечно-гравийно-песчаные отложения, сменяющиеся выше разнозернистыми песками. В среднем доминируют зеленовато-се-

рые разнозернистые пески с гравием и галькой, переходящие в мелко-среднезернистые с прослоями глин и алевропелитов. В нижнем цикле распространены преимущественно относительно хорошо отсортированные, в основном среднезернистые пески с подчиненной долей разнозернистых, которым свойственны сероцветные окраски, а также более широко развиты пестроокрашенные глинистые прослои.

В целом для инкудукского надгоризонта на месторождении Инкай по сравнению с Мынкудуком отмечается увеличение роли отложений сероцветного геохимического типа, которая возрастает на юго-запад вместе с увеличением общей мощности надгоризонта до 130—150 м.

Песчаным отложениям обоих рудовмещающих горизонтов Инкай, как и Мынкудука, свойственны незначительные концентрации органического вещества C_{org} (в среднем от 0,02 до 0,05%), низкое содержание сульфидного железа и сульфидных минералов (0,1—0,4%).

Для жалпакского горизонта ($K_2km-Pg_1^1$) характерно присутствие в нижней части отложений с первично сероцветными окрасками (собственно жалпакский горизонт) и преобладание белесых и пестрых тонов отложений в верхней части разреза, что обусловлено процессами древнего (палеоценового) грунтового окисления и выветривания. На месторождении Инкай жалпакский горизонт оруденения не содержит.

Палеогеновые отложения представлены довольно полным разрезом, сложенным всеми четырьмя выделенными в районе горизонтами: континентальным уванасским (канжуганским Pg_1^2) и тремя морскими — уюкским ($Pg_1^2-Pg_2^1$), иканским (Pg_2^2) и интымакским (Pg_2^{2-3}). Условия для развития в них рудоконтролирующих ЗПО и эпигенетического оруденения здесь отсутствовали.

В перекрывающем суборогенном комплексе выделяются песчано-глинистые красноцветные отложения бетпак-далинской свиты ($Pg_3-N_1^1$), пестроцветно-красноцветные известковистые гравийно-песчаные и глинистые образования тогускенской толщи ($N_1^2-N_1^3$) и весьма пестрые по литологическому составу осадки позднеллювиально-четвертичной пачки (N_2^3-Q), характеристика которых приведена в предыдущих разделах.

Тектоническая структура определяется расположением рудного поля месторождения в северной части Сузакской впадины, на стыке с Сарысульской зоной меридиональных структур, представ-

флексурных, а в нижних горизонтах мела, возможно, и разрывно-флексурных зон. Вероятно, так же выражены в чехле северо-западные и северо-восточные нарушения. Однако следует отметить, что все они, включая и близмеридиональные, установлены преимущественно по геофизическим данным и специально не изучались.

В гидрогеологическом отношении месторождение приурочено к фронтальной области мощного рудообразующего потока пластовых вод северо-северо-западного направления, проявленного в верхнемеловых горизонтах. Подземные воды характеризуются высокими гидростатическими напорами на кровлю: от 208—337 м для инкудукского горизонта и до 405—467 м для мынкудукского. Залегание пьезометрического уровня неглубокое (до 40—50 м), в южной части месторождения воды самоизливающиеся. Химический состав пластовых вод однотипный — хлоридный натриевый, лишь на юге воды сульфатно-хлоридные. Минерализация вод верхнемелового комплекса от 0,9 до 4,7 г/л (в вышележащем уванасском горизонте 0,6—0,9 г/л).

В рудоносных зонах распространены радиоактивные ураново-радиево-радоновые воды со значительным превышением предельно допустимых концентраций указанных элементов.

Урановое оруденение. Положение месторождения во фронтальной части регионального потока пластовых вод, значительная мощность и высокая проницаемость продуктивных горизонтов, сложные взаимоотношения в них проницаемых и водоупорных типов пород — все это определило ряд особенностей уранового оруденения на данном объекте. Среди них следует выделить более сложную, чем на месторождении Мынкудук, морфологию оруденения в плане (см. рис. 12), что нашло свое выражение в извилистости, глубокой и частой «гофрировке» рудных лент, повторяющих весьма прихотливые очертания рудоконтролирующих границ ЗПО; большой размах оруденения по вертикали, отчетливо проявленную его многоярусность; еще более сложные и разнообразные формы рудных залежей в вертикальных разрезах; более значительные масштабы рудоносности и более высокую продуктивность рудных залежей; определенные особенности вещественного состава руд.

В соответствии с различиями в проницаемости и восстановительной способности пород рудовмещающих горизонтов урановое оруденение в плане образует систему сложногофрированных лент, расположенных в близмеридиональной полосе шириной до 17 км. Развиваясь с юго-востока на северо-запад, многослойная мегазона пластового окисления, постепенно, ступенчато выклиниваясь, фор-

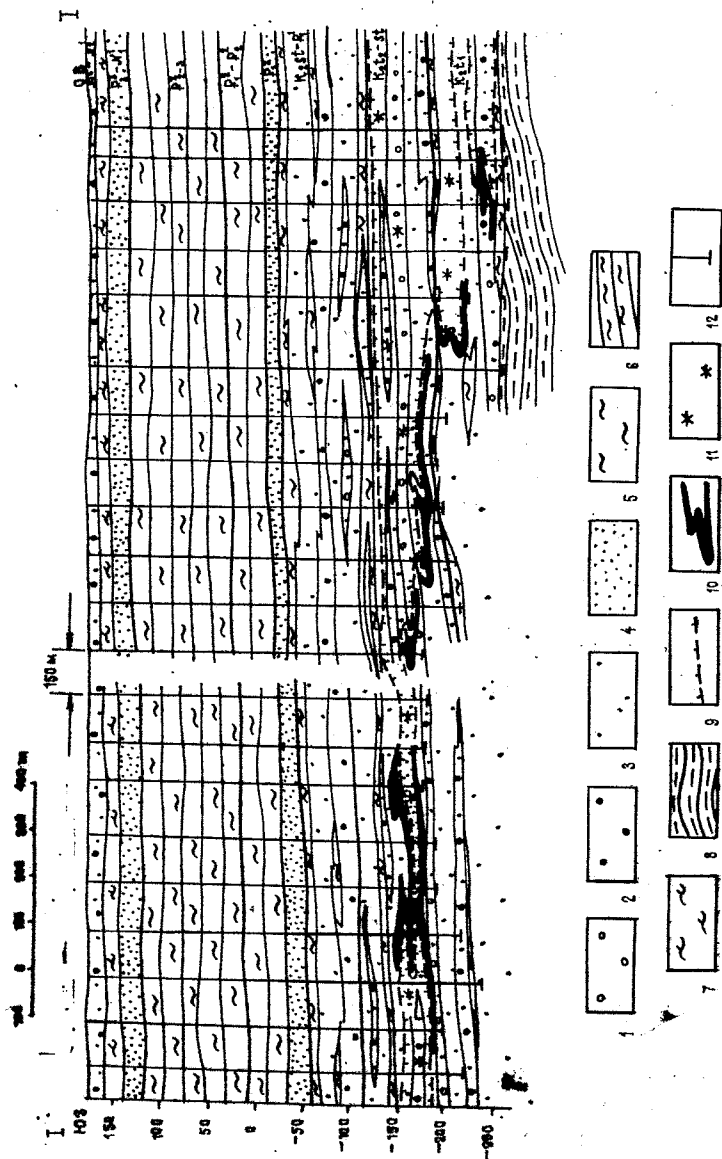


Рис. 13. Позиция уранового оруденения в поперечном геологическом разрезе на месторождении Инкай (по линии I—I): 1—7 — мезозойско-кайнозойские отложения: 1 — песчано-гравийные породы, 2 — разноразмерные пески, 3 — среднезернистые пески, 4 — мелкозернистые пески, 5 — глины, 6 — глины, 7 — глины известковистые; 8 — палеозойские образования: аргиллиты, алевролиты; 9 — границы ЗПО; 10 — урановое оруденение; 11 — лимонитизация; 12 — боровые скважины

мирует в этом направлении сначала прерывистые залежи в верхнем цикле инкудукского горизонта, затем выдержанные рудные ленты в мынкудакском горизонте, далее в нижнем цикле инкудукского надгоризонта и, наконец, в среднем, наиболее высокопродуктивном цикле инкудукского горизонта, в котором урановое оруденение контролируется линией полного замыкания ЗПО в рудовмещающем комплексе (рис. 13).

Местами, в основном на Центральном участке, отмечается совмещение в плане оруденения, локализованного на различных стратиграфических уровнях, с образованием наиболее высокопродуктивных урановорудных залежей.

Отмечаются следующие основные типы осложнений морфологии оруденения в плане: а) глубокие и высокоамплитудные (до нескольких километров) языки ЗПО и соответствующие изгибы рудных лент, б) малоамплитудные (до первых сотен метров) изгибы границ ЗПО и рудных лент, в) резкие ступенчатые изгибы относительно прямолинейных участков рудных лент.

Формы залежей в поперечных вертикальных разрезах исключительно разнообразны. Среди них выделяется большая группа монороллов многообразных модификаций с различными соотношениями «мешковой» и «крыльевых» частей рудных тел; группа так называемых «каскадных роуллов»; образовавшихся при слиянии по вертикали двух и более монороллов; группа «сопряженных роуллов», контролируемых границами сближенных по латерали соседних языков ЗПО, в результате чего происходит слияние мешковых частей связанных с ними роловых тел.

На первом этапе детальной разведки было разведано восемь рудных залежей (три в мынкудакском и пять в инкудукском горизонтах). Протяженность семи из них варьирует в пределах 9—31 км по оси залежей и 5,3—12 км по топомагистральной (разница этих значений обусловлена интенсивной извилистостью залежей). Средняя ширина семи залежей 250—350 м. Их средняя мощность составляет 5—7,5 м при очень широких вариациях — от первых метров до нескольких десятков метров.

Среднее содержание урана в семи (из восьми разведанных) залежах изменяется от 0,045 до 0,063%, причем по многим рудным интервалам оно достигает десятых долей процента, а по многим пробам — целых процентов.

При весьма высокой продуктивности рудных залежей оруденение месторождения является ярко выраженным монометалльным (урановым).

Среди сопутствующих полезных компонентов наиболее отчетливо проявлен селен, но и его концентрации (0,01—0,03%) распространены спорадически, образуя линзы максимальных размеров до (200—300)×100 м при мощности 1—2 м. Селен практически полностью концентрируется в окисленных отложениях, в подзоне гидроокисного ожелезнения на границе с урановорудными телами.

В контурах уранового оруденения его содержание, как правило, не превышает фоновых значений.

Из других элементов, участвующих вместе с ураном в эпигенетическом рудообразующем процессе, могут быть отмечены молибден и ряд сидерофильных элементов (никель, кобальт, цинк), а также ванадий, германий (в ассоциации с углеродизированными остатками), однако их концентрации представляют лишь геохимический и минералогический интерес.

Из активных в эпигенетическом процессе элементов при обработке месторождения способом ПВ практический интерес может представлять рений, уровень концентраций которого в урановых рудах месторождения весьма низок, не более 0,1—0,2 г/т. Примеси других рассеянных элементов (скандий, иттрий, редкоземельные) не образуют эпигенетических концентраций в профиле рудоконтролирующей окислительной зональности. Тем не менее они, как и рений, накапливаются в рабочих растворах в процессе подземного выщелачивания.

Вещественный состав руд. Урановое оруденение локализуется практически во всех литологических разностях пород с определенным тяготением к среднезернистым пескам. Состав и количественные соотношения обломочных минералов, как породообразующих, так и аксессуарных, от руд месторождения Мынкудук практически не отличаются.

Поровый заполнитель нерудных и рудных песков представлен глинисто-алевритовым материалом (11—27% массы пород). По характеру распределения цемент поровый, неравномерно-пятнистый, по степени кристалличности пленочный, крустификационный. Глинистая составляющая цемента (5—16%) представлена монтмориллонитом, каолинитом, гидрослюдами. По данным рентгенофазового анализа (А. Д. Дара), несколько преобладает каолинит, особенно в мынкудукском горизонте, что по сравнению с данными по другим месторождениям, где заметно доминирует монтмориллонит, представляется в достаточной степени специфичным.

Основная масса урана концентрируется в порах глинисто-алевритового заполнителя. Текстура руд дисперсная, тонковкрапленная, структура интерстиционная.

Урановая минерализация представлена настураном и коффинитом в соотношении: в целом для месторождения 82 и 18% соответственно, для оруденения в инкудукском горизонте 77 и 23 %, в мынкудукском — 87 и 13%. Характеристика урановых минералов и закономерности распределения их в ряду рудоконтролирующей зональности существенно не отличаются от тех, которые приведены для месторождения Мынкудук.

Помимо урановых минералов в составе аутигенной минерализации отмечаются пирит (редко марказит), сидерит, кальцит, самородный селен, сфалерит, хлорит, пиролюзит, апатит.

Качественные и геотехнологические показатели месторождения. Руды месторождения мономинеральные (урановые), силикатные, по содержанию основных компонентов бедные, рядовые. Урановые минералы относятся к высокорастворимой части руд при нерастворимом и труднорастворимом «скелете», представленном обломочными минералами. Руды некарбонатные и не содержат других вредных примесей.

Водопроницаемые руды разделены на три литолого-фильтрационных типа: I — галечно-гравийно-песчаные отложения с содержанием фракций крупнее 1 мм (свыше 40 %); II — разномерные пески, преимущественно грубо-крупнозернистые с примесью гравия

Таблица 5. Геолого-гидрогеологическая характеристика месторождения Инкай

Показатели	Южный фланг	Централь- ный участок	Северный фланг
Глубина залегания руд, м	350—450* 510	330—430 480—515	290—370 430
Коэффициент фильтрации, м/сут	7,9—19,0 7,1	11,7—20,6 11,6—13,0	7,3—11,2 430
Минерализация пластовых вод, г/л	3,1 4,5	2,7—3,0 3,3—3,5	2,1 3,3
Глубина залегания уровня вод, м	+ (5—25) + (5—25)	2,5—30 12—33	23—48 23—50
Площадная продуктивность, кг/м ²	4,1 4,4	3,9—4,6 5,0—7,5	4,5 3,2
Средняя мощность рудного тела, м	4,2 6,28	4,92—7,38 5,83—6,08	5,2 3,50
Средняя ширина рудной залежи, м	200 150	100—250 350—400	200 100
Среднее содержание CO ₂ (карбонатность, %)	0,2 0,3	0,1—0,2 0,3	0,1 0,2
Удельный вес запасов урана, % от общих запасов	25,2 32,9	45,4 45,5	29,4 21,6
Содержание элементов-примесей, г/т:			
рений	<0,1 <0,1	<0,1 <0,1	<0,1 <0,1
скандий	2,8 —	4,0—4,5 3,0—4,5	4,2 —
редкие земли	— —	89—120 110—120	— —

* В числителе — данные по инкудукскому горизонту, в знаменателе — по мынкудукскому.

и гальки, с содержанием фракций крупнее 1 мм (до 40%); III — крупно-, средне- и мелкозернистые пески с содержанием фракций мельче 0,05 мм (до 30%).

Основные геолого-гидрогеологические показатели оруденения и параметры руд приведены в табл. 5.

В ходе разведки месторождения осуществлены лабораторные испытания по выщелачиванию урана из руд всех выделенных ЛФТ преимущественно сернокислотным способом. Извлечение урана по всем трем типам составило 80—90% при расходе кислоты в пределах 5—13 кг/т. Эти результаты были подтверждены и натурным многоскважинным экспериментом по сернокислотному подземному выщелачиванию, проведенным на участке № 1 для оруденения в мынкудукском горизонте. Извлечение урана в контурах опытного полигона составило 84,7% при расходе кислоты 24,4 кг/т и 47,4 кг/кг. Одновременно была установлена принципиальная возможность извлечения из урановых залежей редких рассеянных элементов, накапливающихся в продуктивных растворах: рения (концентрация 0,110 мг/л), скандия (0,120 мг/л), суммы редких земель с иттрием (7,9 мг/л).

Приведенная характеристика позволяет оценивать месторождение Инкай как крупнейший промышленный объект для эксплуатации методом ПВ.

К югу от месторождения, отделяясь от него незначительным перерывом рудоносных зон, располагается месторождение Буденновское, открытое партией № 27 Волковской экспедиции в 1979 г. Оно контролируется продолжением региональных фронтов ЗПО, развитых в мынкудукском и инкудукском горизонтах, и характеризуется во многом сходными с месторождением Инкай чертами оруденения, закономерностями его размещения и условиями образования.

В отличие от месторождений Мынкудук, где основным рудовещающим горизонтом является мынкудукский, и Инкай, на котором оба горизонта по своей рудоносности приблизительно равноценны, на Буденновском месторождении основные запасы сосредоточены в инкудукском горизонте. Глубина залегания оруденения здесь существенно больше, чем на предыдущих месторождениях.

По запасам урана Буденновское месторождение сопоставимо с месторождением Инкай.

Месторождение Жалпак

Месторождение расположено в южной части одноименного рудного района, выделенного в Кенце-Буденновской урановорудной металлогенической зоне. Рудное поле находится в 85 км к северу от месторождения Уванас и в 50 км к востоку-северо-востоку от Восточного участка Мынкудука, с которым соединяется грунтовыми автодорогами.

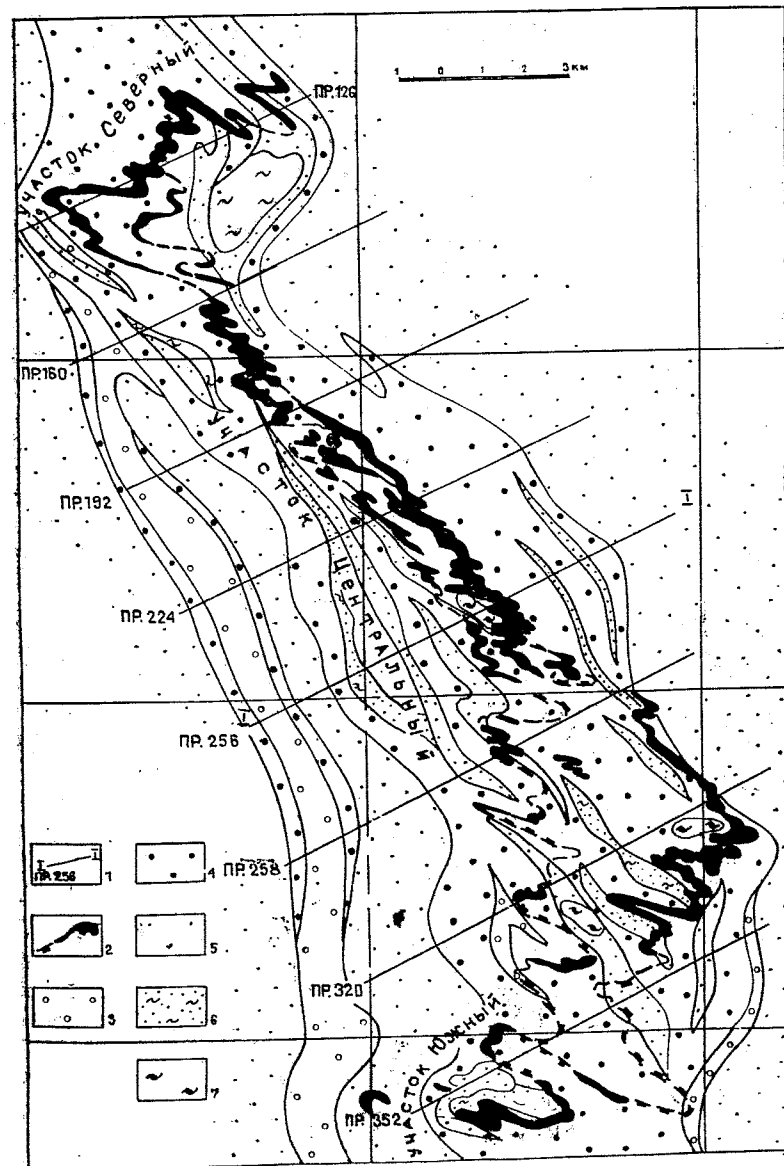


Рис. 14. План рудоносности месторождения Жалпак: 1 — линии разведочных профилей и геологического разреза (I—I); 2 — граница ЗПО и связанное с ней отложения строжневой фации; 3 — разнозернистые урановое оруденение; 4 — разнозернистые пески; 5 — среднезернистые пески (фация прирус-меандрирующей отмели); 6 — мелкозернистые глинистые пески (фация прирус-меандрирующей отмели); 7 — серые глины и алевролиты озерно-болотной и старичной фаций

Месторождение Жалпак располагается в платформенной части Чу-Сарысульской депрессии, где оно контролируется зоной Каракоинского (Бюртускенского) конседиментационного прогиба, отделяющегося региональным Идыгейско-Кокшетауским разломом от Жезказган-Уванасского мегавала. Геоморфологически оно приурочено к центральной части структурного плато Бетпак-Дала, к вытянутому на северо-запад участку плоской аккумулятивной равнины, поверхность которой сложена пролювиально-такырными и эоловыми четвертичными отложениями.

Рудопоявление Жалпак выявлено партией № 37 (Е. С. Домаев, А. Д. Поломошнов) в 1964 г. и переведено в разряд месторождений в результате поисково-оценочных работ, проведенных в 1971—1972 гг. партией № 27. Предварительная разведка месторождения выполнена в 1973 г., детальная — в 1988—1991 гг. Промышленное значение месторождения определено по аналогии с участком Акдала Мынкудука, где в близких, но более сложных геолого-гидрогеологических условиях (при отсутствии надежного нижнего водоупора) были успешно проведены опытные работы по извлечению урана и рения методом ПВ. Промышленное освоение месторождения Жалпак отложено лишь из-за его не вполне благоприятного географического положения.

Всего на месторождении пробурено около 2700 буровых скважин объемом 365 тыс. м.

Сложно «гофрированная» близмеридиональная полоса месторождения разделена безрудными интервалами фронта ЗПО на Северный, Центральный и Южный участки (рис. 14).

Геологические особенности. Стратиграфия. Домезозойское основание чехла выполнено сероцветными осадочными образованиями кенгирской свиты (P_{1-2} кп), представленной мергелями, известковыми алевролитами и мелкозернистыми песчаниками. Более древние средне-позднепалеозойские отложения выведены на размытую поверхность домезозойских пород в 10 км к западу, где в ядре Ортасынерлинской брахиантиклинали выделяются метаморфизованные вулканогенно-осадочные образования складчатого фундамента [тулендинская и жолакская толщи (E_3-O_2)], перекрытые континентальными красноцветными песчаниками и конгломератами бестюбинской свиты (D_3), выше которых залегают морские, терригенно-карбонатные турне-визейские и серпуховские отложения и континентальные терригенные образования таскудукской (C_2), джезказганской (C_{2-3}) и жиделисайской (P_1) свит.

Мезозойско-кайнозойский структурный этаж подразделяется, как и везде, на два СФК: мел-палеогеновый платформенный и позд-неолигоценно-четвертичный платформенно-субороженный.

Мел-палеогеновый СФК. Верхнемеловая толща состоит из трех горизонтов, мощность которых заметно возрастает в Каракоинском прогибе и сокращена в Жезказган-Уванасском мегавалу.

Существенно сероцветные отложения мынкудукского (K_2t_1) и инкудукского (K_2t_2-st) горизонтов представлены преимущественно грубообломочными песчано-гравийными и галечно-песчано-гравийными образованиями руслово-стречневых фаций. Их мощность в основном изменяется в пределах 40—60 м, в зоне Кокшетауского разлома она возрастает до 70—90 м. (местами более), на Жезказганском мегавалу — до 30—20 м, а участками до полного выклинивания (размытая) мынкудукского горизонта.

Рудовмещающий жалпакский горизонт (надгоризонт) образует единый осадочный макроцикл, условно, без отчетливой литологической границы, разделяющийся на два подгоризонта: нижний (собственно жалпакский) рудовмещающий и верхний («бюртускенский»).

Нижний подгоризонт представлен аллювиальными первично сероцветными образованиями, в составе которых преобладают разнородные, с гравием и галькой, полевошпат-кварцевые пески, обычно косослойные, с включениями обугленного растительного детрита и обломков древесины. Цвет отложений темно-, пепельно- и светло-серый. Вторая разновидность отложений нижнего подгоризонта характеризуется осветленной зеленоватой окраской, отсутствием растительных остатков, наличием линз и прослоев серых и темно-серых глин. Мощность нижнего подгоризонта от 15 до 30 м.

Верхний подгоризонт сложен в основном белесыми и зеленоватобелесыми разнородными песками с прослоями пестроцветных глин и известковистых песчаников. Углефицированный детрит в породах отсутствует. Мощность подгоризонта 25—35 м. Верхний подгоризонт, по существу, соответствует дат-палеоценовой зоне грунтового и поверхностного окисления, а нижний представляет собой пачку пород, сохранивших в значительной мере первичный облик.

Общая мощность жалпакского горизонта 45—75 м.

Палеогеновые отложения. Нижние горизонты палеогена — уванасский (практически весь), уюкский, иканский (полностью) — эродированы в предчеганскую (прединтымакскую) кратковременную фазу тектонической активизации. Отложения уванасского горизонта сохранились лишь в южной части рудного поля в виде реликтовых линз мощностью до 10 м, состоящих из среднезернистых серо- и зеленоцветных песков.

Интымакский (чеганский) горизонт верхнего эоцена, залегающий практически везде с угловым несогласием на образованиях жалпакского горизонта, представлен зеленовато-серыми слоистыми глинами (нижняя пачка), голубовато-зелеными неслоистыми алевролитами, песками и песчаниками (средняя пачка) и темно-серыми тонкослоистыми глинами (верхняя пачка). Общая мощность горизонта 40—45 м.

Позднеолигоценочно-четвертичный комплекс представлен преимущественно бетпак-далинской ($Pg_3^3 - N_1^1$) свитой. Аральско-павлодарский комплекс [тогускенская свита ($N_1^2 - N_1^3$)] на месторождении размыт. Маломощный (первые метры) покров четвертичных отложений включает пролювиальные песчано-гравийные образования с прослоями слабосцементированных грубозернистых песчаников с глинисто-карбонатным цементом, такырные суглинки, эоловые пески и супеси.

В тектоническом плане месторождение Жалпак расположено на пологом восточном крыле Каракоинского (Бюртускенского) прогиба, западный борт которого приурочен к зоне Кокшетауского разлома, представленного системой северо-северо-западных разрывно-флексурных швов. Амплитуда вертикальных перемещений в этой зоне не превышает первых десятков метров в нижней части верхнемеловых отложений; вверх по разрезу структуры постепенно выполаживаются. На самом месторождении сколько-нибудь заметно выраженных пликтивных и разрывных нарушений не наблюдается. Тектоническая структура рудного поля имеет несомненно дорудное происхождение.

Гидрогеологические условия. Месторождение находится в краевой части Тесбулакского артезианского бассейна второго порядка.

Артезианский комплекс представлен гидравлически связанными между собой водоносными горизонтами верхнего мела: жалпакским (с нижним и верхним подгоризонтами), инкудукским и мын-кудукским.

Продуктивным на площади месторождения является нижне-жалпакский водоносный подгоризонт. Общая мощность водопроницаемых пород в нем 22—30 м. Залегают они на практически водонепроницаемых гравийных отложениях верхней части инкудукского горизонта, которые выполняют роль нижнего водоупора.

Воды жалпакского горизонта по всей площади месторождения напорные. Глубина залегания пьезометрического уровня 57—60 м. Подземный поток горизонта направлен с юго-востока на северо-запад. Фильтрационные свойства пород варьируют в широких пределах: коэффициент фильтрации наиболее проницаемого нижне-жалпакского подгоризонта составляет 5—7 м/сут, тогда как в породах верхнежалпакского горизонта он не превышает 0,2—1,6 м/сут. Воды рудовмещающего горизонта соленые, с минерализацией 7,3—7,5 г/л, по составу сульфатно-хлоридные магниевонариевые. Содержание урана в водах жалпакского горизонта в зоне окисления составляет $(1-3) \cdot 10^{-6}$ г/л, а в водах, омывающих рудную залежь, повышается до $9,9 \cdot 10^{-5}$. Концентрация радия за пределами рудной полосы $(0,1-0,2) \cdot 10^{-10}$ г/л, в рудоносной зоне до $14 \cdot 10^{-10}$ г/л.

Характеристика уранового оруденения. Урановое оруденение на месторождении контролируется границей зоны пластового окисления, которая представляет собой фрагмент единого регионального фронта окисления, развивающегося в Чу-Сарысуйской депрессии.

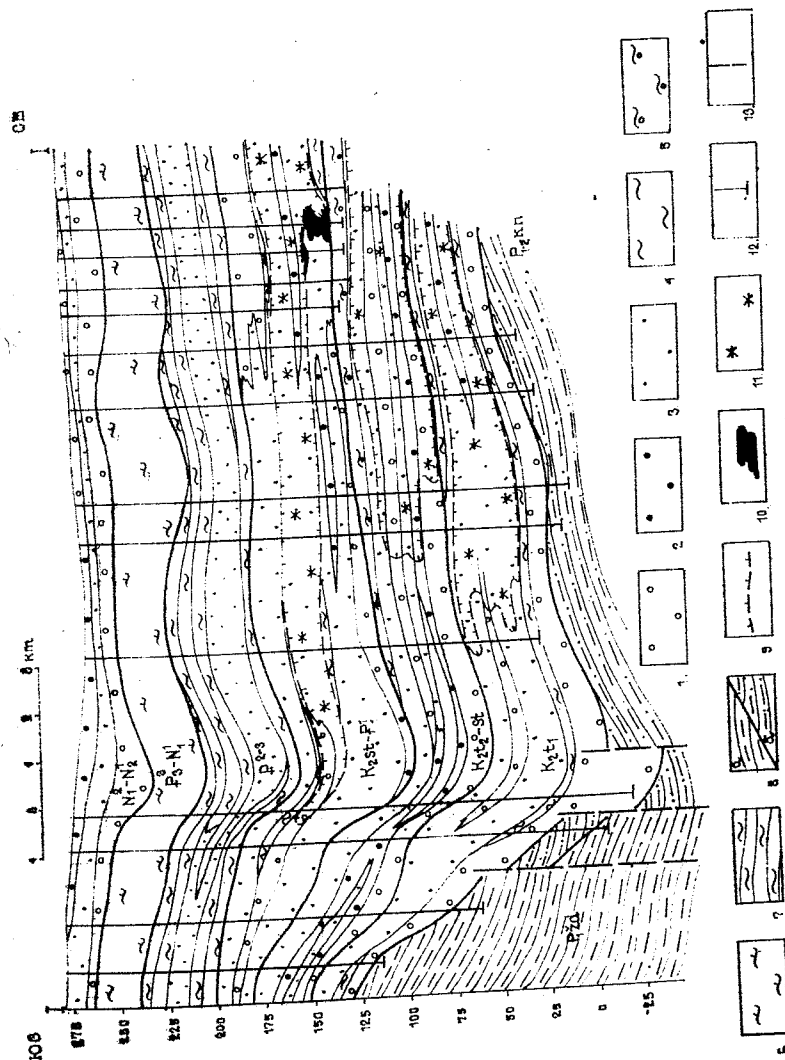
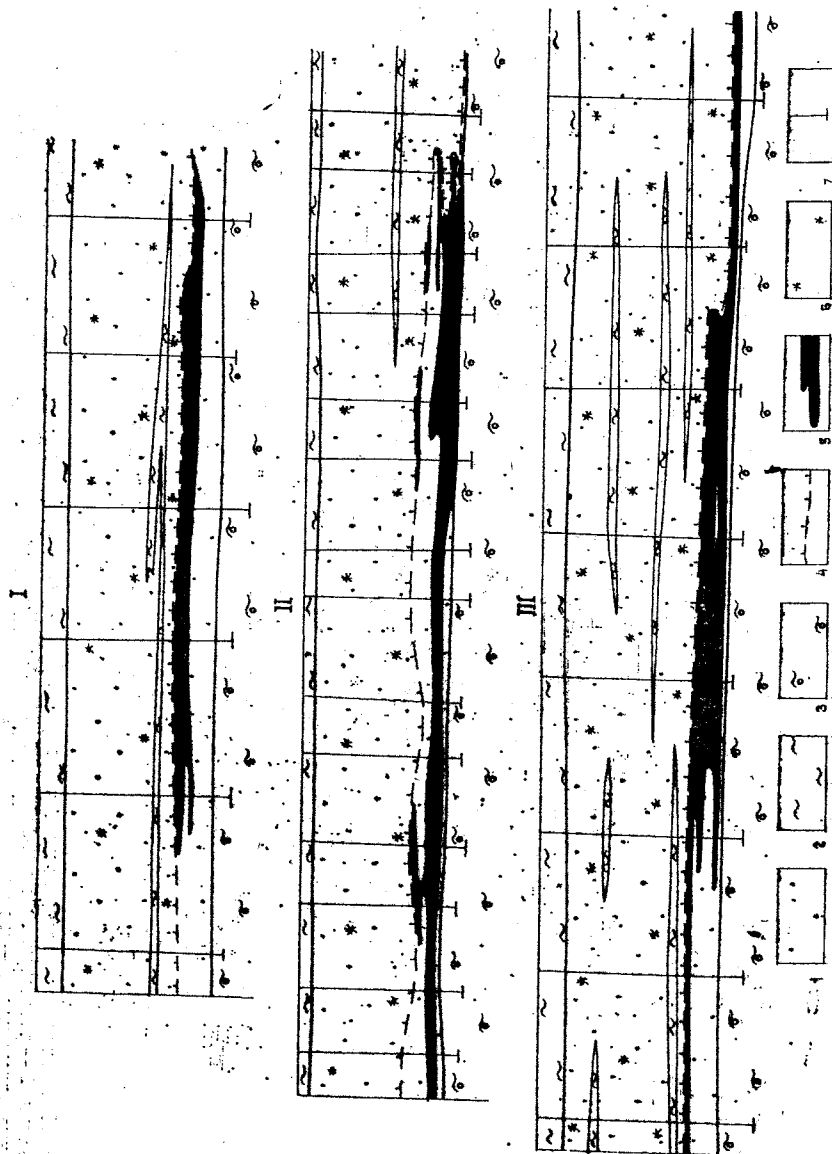


Рис. 15. Позиция уранового оруденения в разрезе Жалпака (по линии 1—11); 1 — гравийно-песчаные отложения, 2 — разномощные пески, 3 — средне- и мелкозернистые пески, 4 — глины, 5 — глинисто-гравийные отложения, 6 — известковистые глины, 7 — глины морские слонистые, 8 — породы палеозойского фундамента: а — аргиллиты и алевролиты жидельсайской свиты, б — алевролиты и песчаники кенгир-скайской свиты; 9 — граница ЗПО; 10 — урановорудные залежи; 11 — окисленные отложения; 12 — буровые скважины; 13 — разрывные нарушения



Рудовмещающими являются сероцветные отложения нижнего (собственно жалпакского) подгоризонта — аллювиальной пачки мощностью 15—30 м, сложенной сероцветными разнозернистыми полевошпатово-кварцевыми песками с прослоями и линзами серых и темно-серых глин и алевропелитов.

Пластовое окисление, захватывая отложения обоих подгоризонтов жалпакского горизонта, распространяется в них неодинаково ввиду разных восстановительных свойств. В сероцветных отложениях нижнего подгоризонта пластовое окисление выклинивается раньше (на 6—10 км), чем в породах верхнего (рис. 15).

Потенциально рудоносна та часть рудного поля, где отложения нижнего сероцветного подгоризонта на какую-либо мощность окислены (от начала выклинивания пластового окисления до выхода его нижней границы в отложения верхнего подгоризонта). Наиболее богатые рудные залежи локализуются в области «отрыва» границы выклинивания зоны пластового окисления от нижнего водоупора. Отдельные рудные тела связаны с участками усложнения нижней границы ЗПО на определенном удалении от линии «отрыва». Поднимаясь от нижнего водоупора в вышележащие отложения, эта граница затем местами резко опускается вниз по разрезу и порой вновь достигает нижнего водоупора, разделяя участки неокисленных отложений нижнего подгоризонта. Такие участки часто сопровождаются урановым оруденением.

Область замыкания зоны пластового окисления в отложениях верхнего подгоризонта урановым оруденением не сопровождается. Причинами этого являются низкие восстановительные свойства пород верхнего подгоризонта, отсутствие в породах сульфидов и углефицированных остатков.

Протяженность месторождения (с севера на юг) около 45 км. Как уже отмечалось, рудоносная зона подразделяется на три рудных участка (Центральный, Северный и Южный), из которых максимально рудонасыщен Центральный участок.

В соответствии со спецификой контроля оруденения (не замыканием ЗПО, а усложнениями конфигурации ее нижней границы) морфологии рудных тел свойственны особенности.

В плане оруденение представлено сложноволнистой прерывистой полосой, выраженной двумя системами рудных залежей: связанных с линией «отрыва» зоны окисления от нижнего водоупора и контролируемых усложнениями нижней границы ЗПО на удалении

Рис. 16. Основные морфологические типы рудных залежей месторождения Жалпак в поперечных разрезах: 1 — песчаные отложения; 2 — водоупорные отложения (глины, алевропелиты); 3 — глинисто-гравийные отложения; 4 — отложения (глины, алевропелиты); 5 — окисленные отложения; 6 — боровые границы ЗПО; 7 — рудные тела; морфологические типы рудных тел: I — линзообразные тела в связи с усложнением нижней границы ЗПО; II, III — комбинированные мешковидно-линзообразные формы на участках резкого «отрыва» границы окисления от нижнего водоупора

от линии «отрыва». Расстояние между этими системами — от первых сотен метров до 10 км (на Южном участке).

Морфология рудных тел в вертикальном разрезе довольно проста. Это или линзообразные (плащеобразные) залежи вдоль границы зоны пластового окисления, или субролловоы (мешковидные) тела, либо комбинация тех и других (рис. 16). Глубина залегания подошвы рудных тел 125—145 м, и лишь на Южном участке она возрастает до 200 м.

На месторождении выявлено восемь рудных залежей. Около 75% всех запасов урана сосредоточено в четырех крупных залежах, причем почти 30% всех запасов локализовано в залежи № 2, наиболее крупной из них. Ширина рудных залежей колеблется от 25 до 850 м, протяженность, как правило, 3—7 км и достигает 22 км для залежи № 2. Мощность рудных залежей изменяется от 0,5 до 15 м, содержание урана находится в пределах 0,01—0,393% и в отдельных случаях достигает 0,846%. Основными сопутствующими компонентами являются рений и селен.

Вследствие особенностей контроля оруденения нижней границей региональной ЗПО и специфики его морфологии латеральная рудоконтролирующая эпигенетическая зональность, свойственная месторождениям роллового типа, на месторождении Жалпак проявлена неотчетливо, хотя принципиальная ее схема все же сохраняется (от неизменных пород к окисленным): 0 — зона неизменных пород; 1 — восстановления (уранонакопления); 2 — окисления с подзонами; 2а — гидрооксидного ожелезнения, 2б — неполного, 2в — полного окисления.

Зона эпигенетически неизменных пород представлена сероцветными отложениями. Содержание урана в ней находится на уровне кларковых концентраций, среднее содержание железа около 1%, органического вещества 0,12%. Глинистая составляющая песчаных отложений характеризуется преобладанием каолинита над монтмориллонитом в среднем в 3 раза.

Зона уранонакопления с подзонами ореола рассеяния и уранового оруденения характеризуется, по данным Н. И. Красновой, возрастанием валового железа до 2% и органического вещества до 0,23%. Среднее содержание селена здесь 0,0017%. Отмечаются незначительные концентрации (тысячные, до первых сотых долей процента) Zn, Co, редко Ni, Mo, Cu, As.

Подзоны «бедных», «рядовых», «богатых» руд не выделяются.

Рений концентрируется практически только в подзоне уранового оруденения (в кондиционных рудах с содержанием урана $\geq 0,01\%$) (рис. 17). При среднем содержании рения в рудных песках 0,25 г/т, максимальные его концентрации в единичных пробах достигают 62,5 г/т.

Повышенные концентрации селена (в среднем 0,0012%, редко до 0,01—0,02%) отмечаются в урановых рудах только у границы с зоной пластового окисления (рис. 17).

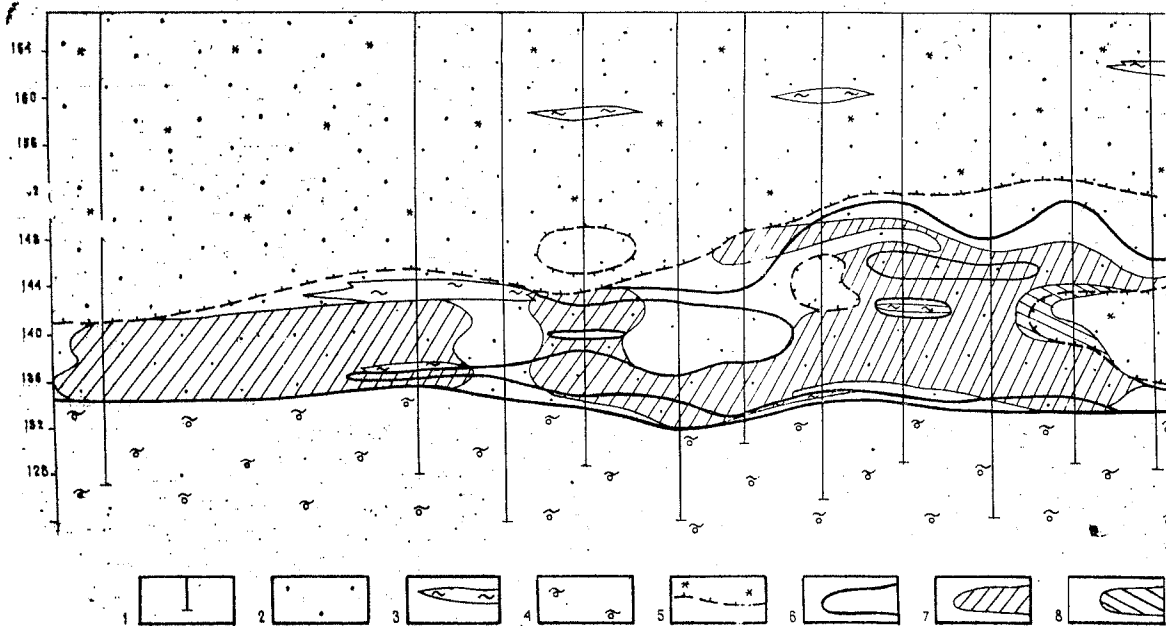


Рис. 17. Распределение концентраций теллурия и селена в поперечных разрезах залежей месторождения Жалпак (соотношение горизонтального и вертикального масштабов 5:1): 1 — буровые скважины; 2 — пески; 3 — прослой и линзы глин; 4 — глинисто-гравийные отложения «нижнего водоупора»; 5 — граница ЗПО; 6 — урановое оруденение (при бортовом содержании 0,01 %); 7 — теллуриеносные залежи (при бортовом содержании 0,2 г/т); 8 — селеновое оруденение (при бортовом содержании 0,01 %)

Среднее содержание скандия в рудных залежах варьирует от 1,9 до 4,7 г/т. Содержание суммы редкоземельных элементов в среднем 106 г/т, в том числе иттрия 13 г/т.

Следует отметить, что и скандий, и редкоземельные элементы не образуют эпигенетических концентраций и содержание их в урановых залежах соответствует геохимическому фону. Однако в процессе добычи урана способом ПВ они накапливаются в промышленных растворах и могут попутно извлекаться.

Зона пластового окисления представлена белесыми и светло-желтыми песчаными отложениями. Среднее содержание железа в ней 1,6%. У контакта с сероцветными отложениями зоны восстановления оно возрастает до 2% (подзона гидроокисного ожелезнения), а в подзоне полного окисления уменьшается до 1% и ниже.

В подзоне гидроокисного ожелезнения концентрируется селен (до 0,012—0,02%, редко до 0,03%). Здесь он высаживается в самородной форме в породах рыхлого алеврито-глинистого заполнителя песков, а также образует скопления в агрегатах гидроокислов железа. Среднее содержание селена в ЗПО 0,0038%.

Минералогический состав руды. Макроскопически рудные пески от нерудных практически неотличимы. Для руд с высоким содержанием характерны более темная окраска и, как правило, повышенное содержание растительного детрита.

По данным химического анализа среднее содержание органического вещества в песках жалпакского горизонта 0,06—0,12%. В рудных песках оно достигает 0,5%. Урановая минерализация в рудах представлена коффиномитом и в виде примеси настураном.

Основная часть урановых минералов дисперсно распределена среди зерен алеврито-глинистого материала рудных песков либо образует тончайшие присыпки на зернах обломочных пород, корочки на желваках пирита. В богатых рудах коффиинит выполняет роль базального цемента, замещающего алеврито-глинистый заполнитель песков. Меньшая часть урана концентрируется в обугленном растительном детрите. Коффиинит образует в нем тонкую дисперсную вкрапленность, а в богатых рудах — полные псевдоморфозы по обрывкам растительной органики.

На месторождении выделены три типа урановых руд.

Первый тип объединяет темно-серые рудные пески с относительно высоким содержанием урана. Они включают значительное количество органических веществ в виде обломков лигнитизированной древесины и тончайших чешуек обугленного растительного детрита. Коффиинит псевдоморфно замещает органические остатки и образует корочки на зернах обломочного материала. Радиоактивное равновесие между радием и ураном в этих рудах значительно сдвинуто в сторону избытка урана ($K_{pp} \geq 1,00$).

Второй тип представлен серыми и зеленовато-серыми рудами также с относительно высоким содержанием урана. Они обогащены пиритом, но не содержат углефицированных остатков. Урановый

минерал образует тонкие корочки на зернах пирита и обломочного материала, а также дисперсно распылен в алеврито-глинистом заполнителе. Руды либо равновесные, либо равновесие сдвинуто в сторону избытка урана ($K_{pp} \geq 1,00$).

Третий тип объединяет светло-серые, почти белесые бедные и убогие руды. Урановый минерал здесь не диагностируется из-за дисперсности и равномерной рассеянности его в поровом пространстве рыхлого алеврито-глинистого заполнителя. Радиоактивное равновесие этих руд значительно сдвинуто в сторону избытка радия ($K_{pp} \geq 1,00$).

К ураносодержащим минералам относятся акцессорные лейкоксен и ильменит, псевдоморфно замещаемые дисперсным коффиинитом, к радийсодержащим — лейкоксены, гидрогетит, радиобарит.

Сопутствующая аутигенная минерализация представлена сульфидами железа (в основном пирит, реже марказит), кобальта, никеля (бравонит).

Рений находится или в виде изоморфной примеси в коффиините, или, по предварительным данным, в форме перренатов серебра ($AgReO_4$) и водного перрената алюминия $[Al(ReO_4) \cdot 2H_2O]$.

Селен присутствует в самородной форме, карбонатные минералы — в виде кальцита и сидерита.

Качественная и геотехнологическая характеристика месторождения, определяющая его пригодность для отработки способом ПВ, сводится к следующему. Рудные залежи месторождения высокопроницаемые, с коэффициентом фильтрации от 3,4 до 14,3 м/сут, подстилаются достаточно надежным нижним водоупором и перекрываются пачкой пород, проницаемость которых, по крайней мере, в 2 раза меньше, чем у рудных песков.

Глубина залегания подошвы рудных тел в основном находится в пределах 125—140 м и не превышает 200 м.

Глубина пьезометрического уровня вод 57—60,5 м, а величина напора на кровлю горизонта 55—58 м.

Руды относятся к силикатному типу, практически бескарбонатные: содержание SiO_2 изменяется от 84 до 89%, содержание карбонатов в пересчете на $CaCO_3$ не превышает 0,3% при среднем 0,1%, что обеспечивает их низкую кислотоемкость.

Руды и рудовмещающие породы месторождения характеризуются низким содержанием органического углерода, существенно влияющего на кислотоемкость пород; среднее его содержание 0,23%.

Руды относятся к маложелезистым; среднее содержание валового железа в рудных залежах не более 2%. Содержание сульфидного железа, образующего при отработке месторождения способом ПВ полезную примесь, около 0,85%.

Пятиокись фосфора (вредная примесь) содержится в рудах и вмещающих породах в количестве не более 0,03%.

Основным урановым минералом является коффиинит, который находится в поровом пространстве рудных песков, легко дезинтегрируется и растворяется.

В рудовмещающих породах кроме урана и рения присутствуют скандий, редкие земли и иттрий, которые переходят в продуктивные растворы в процессе выщелачивания и могут быть попутно извлечены.

Принципиальная возможность обработки месторождения способом сернокислотного подземного выщелачивания подтверждена лабораторными технологическими испытаниями, показавшими высокую извлекаемость урана и возможность попутного извлечения других полезных компонентов, прежде всего рения.

Приведенные качественные и технологические показатели руд характеризуют их как вполне пригодные для обработки методом подземного выщелачивания.

По запасам урана месторождение Жалпак представляет собой крупный промышленный объект.

Месторождения в палеогеновых отложениях (Уванас-Канжуганская металлогеническая зона)

Месторождение Уванас

Это первое промышленное месторождение, выявленное в Чусарьсуьской депрессии. Оно расположено в северной части одноименного урановорудного района, выделенного в составе Уванас-Канжуганской металлогенической зоны.

Рудное поле месторождения представляет собой слабо всхолмленную равнину в южной части плато Бетпак-Дала, отделенного Тогускенским, Кутантасским и Кичиктасским увалами от долины р. Чу. Севернее выделяется кольцевая система холмов Кызымчекской структуры.

Месторождение открыто партией № 37 Волковской экспедиции в 1963 г. Ранее, в 1962 г., в его рудном поле по каротажу картировочной скважины № 54, пробуренной при геологической съемке масштаба 1:200 000 Капкансорской ПСП ЮКГУ, была установлена радиоактивная аномалия — около 200 мкр/ч. Первоначально ее ошибочно посчитали связанной с морскими интымакскими («чеганскими») глинами и отнесли к бесперспективным (в дальнейшем оказалось, что аномалия приурочена к горизонту песков, подстилающих интымакскую свиту).

В результате поисково-оценочных работ, проведенных в 1963—1964 гг. партией № 37 (Е. С. Домаев, А. Д. Поломошнов), была выявлена близширотная рудоносная полоса месторождения, получившего свою первую оценку как непромышленное применительно к горному способу обработки (из-за низких содержаний урана и сильной обводненности рудовмещающего горизонта).

В 1969—1970 гг. партией № 27 Волковской экспедиции совместно с Киргизским горнорудным комбинатом в центральной части рудоносной полосы был успешно проведен полевой эксперимент по подземному выщелачиванию и начата детальная разведка. Это

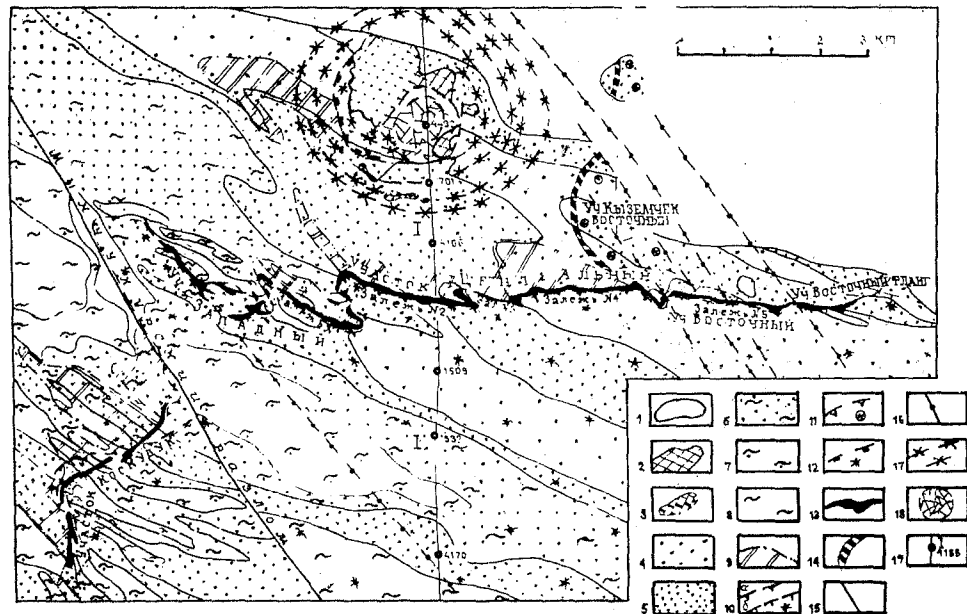


Рис. 18. План рудоносности Уванасы: 1—3 — области отсутствия уванасского горизонта: 1 — область размыва отложений горизонта в эоцене, 2 — палеозойские образования (импактные глыбы), 3 — трещинно-жильные карбонатные тела; 4—9 — литология уванасского горизонта: 4 — мелкозернистые пески, 5 — среднезернистые пески, 6 — пески с подчиненными прослоями и линзами глин, 7 — пески и глины примерно в равном соотношении, 8 — глинистые отложения, 9 — первично-сероватые отложения; 10 — границы рудоконтролирующей ЗПО: а — полного ее выклинивания, б — проявленного на всю мощность горизонта; 11 — граница ЗПО раннего этапа (ныне «замаскированная» наложенными процессами восстановления); 12 — зона современного грунтового окисления; 13 — промышленное урановое оруденение; 14 — забалансовое урановое оруденение раннего этапа; 15—18 — тектонические нарушения: 15 — линейные разрывные, 16 — линейные флексурные, 17 — кольцевые трещины, 18 — зона разрушения в ядре Кызымчекской астроблемы; 19 — линия геологического разреза и буровые скважины

позволило кардинально изменить первоначальную оценку месторождения — отнести его к крупным промышленным объектам первостепенной значимости.

Месторождение было детально разведано и с 1977 г. эксплуатируется.

Известная ранее близширотная рудная полоса партией № 27 была прослежена в западном направлении еще на 6,5 км, был выявлен и разведан (до категории C_2) новый участок — Юго-Западный, или Коскудук, протяженностью около 11 км. В его пределах рудоносная полоса характеризуется северо-восточной и близмеридиональной ориентировкой. Близширотная полоса месторождения, или Главная рудоносная зона, разделяется локальными изгибами (иногда с перерывами оруденения) на несколько рудных участков (рис. 18).

За годы изучения и разведки (до передачи промышленности) на месторождении пробурено 2612 скважин общим объемом 356 тыс. м.

Геологическое строение. Стратиграфия. Домезозойские образования, представленные в основном средне-позднепалеозойскими осадочными породами, залегают под мезозойско-кайнозойским чехлом на глубине от 160 до 300 м, и только в ядре Кызымчекской структуры откартировано несколько их выходов на дневную поверхность.

В западной краевой части рудного поля домезозойские образования слагают тектонический блок древних пород, взброшенных по зоне Мынчукурского разлома. Они относятся к орысказганской толще верхнего рифея и представлены хлорит-мусковит-кварцевыми сланцами, которые несогласно перекрываются терригенной красноцветной бестюбинской свитой верхнего девона. Как правило, контакты этой свиты с рифейскими образованиями тектонические.

В восточной части рудоносной полосы верхнемеловые образования, по данным глубинного картирования, проведенного Тастинской ПСП в 1982—1987 гг., залегают на размытой поверхности сульфатно-карбонатно-терригенной толщи турне и терригенно-карбонатной толщи визе — серпухова. В западной половине месторождения откартировано пологое брахисинклинальное понижение северо-западной ориентировки, на крыльях которого образования нижнего карбона согласно перекрыты таскудукской свитой C_2 (темно-коричневые аргиллиты, песчаники, туфопесчаники, в кровле туфоалевролиты или известняки), на которую, в свою очередь, несогласно налегают красно-коричневые разнотерригенные песчаники, туфопесчаники и алевролиты джезказганской свиты C_{2-3} . Ядро синклинали сложено буро-коричневыми алевролитами, аргиллитами и песчаниками жиделисайской свиты нижней перми.

Мезозойско-кайнозойские отложения представлены средние и позднеальпийским СФК.

В основании разреза меловых образований распространены в

виде прерывистого и маломощного (2—25 м) покрова красноцветные песчаные глины с включениями полуокатанной гальки и гравия. Они условно отнесены к сеноману. На этих образованиях или непосредственно на домезозойских породах залегают пачка нацело окисленных отложений мынкудакского горизонта (K_2t_1). В его составе преобладают средне- и разнотерригенные полевощпат-кварцевые пески с подчиненными прослоями и линзами галечно-гравийно-песчаных отложений и лимонитизированных сероцветных песчано-алевритистых глин. Мощность горизонта не превышает 30 м.

Как и повсюду, инкудакский надгоризонт ($K_2t_2 - st$) в рудном поле месторождения залегают с размывом на раннетуронских отложениях. В нем распространены преимущественно разнотерригенные гравийные пески и гравийники с примесью гальки кремнистых пород и кварца. Подчиненное положение занимают прослои пестроцветных, обычно осветленных глин. Мощность надгоризонта изменяется от 25 м в восточной части месторождения до 50—60 м в его западной и южной частях.

В жалпакском надгоризонте ($K_2km - Pg_1^1$) также преобладают разнотерригенные пески, содержащие по сравнению с нижележащими горизонтами заметно меньшее количество гравийного материала. Размеры обломочного материала в целом уменьшаются снизу вверх при одновременном возрастании глинистых. Верхняя, «бюртускенская» пачка горизонта выделяется малиново-розовой окраской первично красноцветных песков, среди которых отмечается от одного до трех маломощных прослоев известковистых песчаников.

В самой верхней части надгоризонта залегают слой существенно глинистых отложений, играющих важную роль нижнего водоупора для вышележащего рудовмещающего уванасского горизонта. Для этого слоя характерны неоднородность состава и плохая сортированность материала пород, представленных главным образом запесоченными глинами, глинистыми песками и смешанными песчано-алеврито-глинистыми породами типа хлидолитов. Глинистым разностям пород свойственны желваки и гнезда песчаников на доломитовом цементе. На Восточном участке месторождения глинистые породы «нижнего водоупора» фациально сменяются рыхлыми разнотерригенными песками. Общая мощность надгоризонта возрастает на запад от 25 до 70 м.

Разрез палеогеновых отложений сокращен за счет размыва ранне-среднеэоценовых горизонтов.

Уванасский горизонт (Pg_2^1) — основной рудовмещающий горизонт на месторождении — распространен не повсеместно: вследствие эоценовой («предчеганской») эрозии его отложения в северо-восточной части рудного поля отсутствуют, за исключением маломощных реликтовых линз, сохранившихся в понижениях древнего рельефа.

В разрезе горизонта выделяются три пачки, объединенные между собой в единый осадочный цикл.

Нижняя пачка представлена разнозернистыми песками с неоднородными, «мусорными», текстурами, с прослоями темно-серых углистых глин, алевролитов и лигнитов мощностью до 3—6 м и протяженностью десятки и сотни метров. В песках присутствует углефицированный растительный детрит — остатки ветвей, листьев, коры и крупные обломки древесных стволов совместно с дисульфидами железа, образующими желваки и гнезда. По простираанию сероцветные пески нередко сменяются их белесо-зеленоватыми разновидностями, не содержащими растительных остатков. Мощность нижней пачки до 15 м.

В средней пачке горизонта преобладают среднезернистые пески с характерной белесой окраской, обусловленной низким содержанием алевроито-глинистой фракции и валового железа.

В составе верхней пачки доминируют пестроцветные отложения, в значительной мере подвергшиеся процессам «подперерывного» восстановления. В основании пачки преобладают малиново-красные и зеленые глинистые пески и алевропелиты. В верхней части нередко выделяется слой черных углистых лигнитов, насыщенных остатками болотной флоры. По трещинам в основной массе глин отмечается обильная сульфидная минерализация. На участках Западном и Коскудук в составе верхней пачки широко развиты мелко-среднезернистые пески, образующие систему подводно-дельтовых рукавов — «струй» преимущественно северо-западной ориентировки. Верхняя пачка проявлена только в западной и юго-западной частях месторождения. На других участках она была размыта в среднем эоцене. Ее максимальная мощность — 15—20 м — установлена на участке Коскудук.

Общая мощность уванасского горизонта постепенно возрастает с северо-востока на юго-запад от 1—8 м на Восточном участке до 8—20 и 20—30 м на Центральном и Западном (соответственно) и до 45—50 м на участке Коскудук.

Уюкский горизонт (Pg_2^1) распространен только в юго-западной части рудного поля — на участке Коскудук, где в его составе доминируют среднезернистые серые пески с прослоями темно-серых и зеленовато-серых глин и раковинных известняков. Мощность горизонта не более 5—8 м.

Морские отложения интымакского горизонта (Pg_2^{2-3}), с размытом и угловым несогласием перекрывающего рассмотренные образования, характеризуются отчетливым четырехчленным строением (снизу вверх):

а) «Базальный слой» — маломощный глинисто-алеврито-песчаный (хлидолитовый) горизонт темно-серых с зеленоватым оттенком пород с включением гравийных зерен кварца и полуокатанных костных остатков рыб (коллофан). Мощность этого слоя сокращается с востока на запад от 2—4 до 1—1,5 м. В восточной части месторождения базальный слой рудоносен.

б) Нижняя пачка — зеленовато-серые и серо-зеленые глины, горизонтально-слоистые до листоватых; мощность в широтной части месторождения 15—30 м, на участке Коскудук до 47 м.

в) Средняя пачка характеризуется фациальными переходами с востока на запад разнозернистых неслоистых глинистых песчаников в мелко-тонкозернистые песчаники и алевропелиты и в пластичные неслоистые глины. Окраска пород голубовато-зеленая. На запад пачка выклинивается с 15 до 3 м.

г) Верхняя пачка мощностью 5—2 м представлена темно-серыми слоистыми глинами с тонкодисперсным углистым растительным детритом.

Общая мощность интымакского горизонта 40—60 м.

Отложения верхнеальпийского комплекса залегают на нижележащих со стратиграфическим перерывом. В нижней части они представлены бетпак-далинской свитой ($Pg_3^3 - N_1^1$) кирпично-красных слабокарбонатных глин и алевропелитов и буровато-красных и розовых, преимущественно мелкозернистых песков. В близширотной зоне месторождения мощность горизонта составляет 20—25 м, на юго-востоке возрастает до 40—50 м.

Верхняя часть неотектонического СФК выполнена отложениями неоднородного литологического состава (пески, гравий, глины, песчаники) с пестрой, преимущественно бурой, грязно-желтой и белесо-зеленоватой окраской. Они относятся к тогускенской толще ($N_1^2 - N_1^1$) мощностью 20—45 м. Четвертичные отложения представлены маломощным (до 1—2 м) покровом палевых суглинков и сунесей. В понижениях рельефа развиты такырные осадки.

Тектоническое строение. Месторождение Уванас расположено на пологом юго-западном склоне Кокшетауского вала — погребенного продолжения Чуйского выступа, осложненного Кызымчекской структурой. Поверхность палеозойских пород в рудном поле погружается на запад-юго-запад под углами 12—16'. Погружение рудодовмещающего уванасского горизонта еще положе — 6—7'. Рудодовмещающая полоса ориентирована в широтном направлении под углом около 45° к азимуту падения слоев (см. рис. 18). На участках Западном и Коскудук, особенно в зоне, прилегающей к Мынчукурскому разлому, погружение чехла несколько круче, но также не превышает 1°.

Близкое к горизонтальному залегание мезозойско-кайнозойского чехла осложняется очень пологими, близширотной ориентированными структурами типа «структурных носов». Одна из них отчетливо выделяется севернее рудодовмещающей полосы, где она осложняется Кызымчекской структурой (см. рис. 18).

Дискуссия о происхождении этой структуры, по всей вероятности, будет завершена в пользу сторонников ее космического — импактного — генезиса (Б. С. Зейлик, Н. М. Радюкевич). Об этом свидетельствует ряд признаков. Данная структура резко отличается

ся от других (купольных) структур формой и строением. Она практически идеально кольцевая, с четкой концентрической зональностью, характеризующейся наличием интенсивно дислоцированного ядра (разрушенные мезозойско-кайнозойские отложения с крупной брекчией цокольных палеозойских пород), концентрическим расположением зон брекчирования, концентрически проявленными трещинно-жильными (?) карбонатными образованиями во внешних зонах структуры. По периферии структуры выявлены также глубокие (до уванасского горизонта) рассекающие «промоины», заполненные грубым брекчированным материалом (возможно, кластические дайки?). При таком подходе «кольцевые» выходы красноцветных песчаников джекказганской свиты должны рассматриваться как мегабрекчии или клипеновые брекчии, что как будто подтверждается скважинами, пробуренными вблизи границ этих громадных глыб. Ядро Кызымчекской астроблемы отчетливо фиксируется гравитационным максимумом. Вероятный возраст Кызымчекской астроблемы — не ранее плиоцена, поскольку в зону деформаций вовлечены породы, по существу, всего развитого на рудном поле мезозойско-кайнозойского разреза.

Близширотная рудоносная полоса месторождения Уванас заключена в блоке между Мынчукурским разломом на западе и Кокшетауским на востоке. Только участок Коскудук расположен за контурами этого блока, к юго-западу от Мынчукурского разлома — единственного крупного линейного нарушения в рудном поле. Он прослежен скважинами в северо-западном направлении и имеет вертикальное смещение кровли и подошвы уванасского горизонта на 10—30 м, причем не исключается и флексурный характер данного перемещения. На Восточном участке буровыми работами выявлена северо-западная зона нарушений, фиксирующихся в поперечном разрезе флексурообразными перегибами продуктивного горизонта с амплитудой несколько метров.

Менее изучено тектоническое строение участка Коскудук, который также характеризуется пологим (до 1°) субмоноклинальным погружением рудовмещающего горизонта на юго-запад и отсутствием в его пределах сколько-нибудь существенных тектонических дислокаций.

Таким образом, месторождение Уванас, практически не затронутое пострудными дислокациями, относится к наиболее простым по тектонической структуре рудным объектам, что чрезвычайно важно для условий его эксплуатации способом ПВ.

Гидрогеологические и гидрогеохимические особенности. Месторождение Уванас, как и Мынкудук, расположено на высоком крыле Сузакского артезианского бассейна. Основной рудовмещающий горизонт входит в состав палеоценово-эоценового водоносного комплекса среднего гидрогеологического этажа чехла. Его воды напорные, величина напора на кровлю возрастает с востока на запад от 30 до 69 м. В этом же направлении возрастает и водообиль-

ность горизонта, что подтверждается увеличением удельных дебитов скважин от 0,6—0,3 л/с на востоке до 0,4—0,95 л/с на западе и до 1,75 л/с на участке Коскудук.

Состав подземных вод однородный сульфатно-хлоридный натриевый, общая минерализация понижается с востока на запад от 5,1 до 2,8 г/л. Только на участке Коскудук воды отличаются существенной примесью гидрокарбонатного иона и снижением величины минерализации до 2—1,2 г/л.

Современный поток пластовых вод направлен с востока на запад, с незначительными отклонениями к северо-западу и юго-востоку.

Значимых содержаний кислорода и сероводорода в водах не обнаружено, pH 6,7—8,25. Содержание урана в водах соответствует эпигенетической зональности в породах: в водах зоны окисления к югу от рудоносной полосы оно изменяется в пределах (3—5) · 10⁻⁶ г/л; севернее сокращается — до (1—2) · 10⁻⁶ г/л; в водах пород, заметно сокращается — до (1—2) · 10⁻⁶ г/л; в водах, омывающих рудные залежи широтной зоны, существенно повышается — от (5—9) · 10⁻⁵ до (1—5) · 10⁻⁴ г/л и по одной скважине — до 2,4 · 10⁻³ г/л. Содержание радия определяется по скважинам, пробуренным только на Восточном и Центральном участках, где оно составило 1 · 10⁻⁴—4,4 · 10⁻⁹ г/л, а в отдельных скважинах — до 1,5 · 10⁻⁸ г/л (все значения превышают установленную ПДК). Концентрация радона по отдельным скважинам рудоносной зоны от десятков до 187 эман.

Воды безрудного позднемелового комплекса характеризуются близким химическим составом и минерализацией, а также фоновыми значениями радиоактивных элементов.

Грунтовые воды верхнего, позднеолигоценово-четвертичного этажа в рудном поле развиты спорадически, в виде линз, залегающих на глубинах от 4 до 30 м. Они отличаются низкими дебитами (по шахтным колодцам) — 0,1—0,6 л/с, повышенной минерализацией — 3—5 г/л, иногда до 6,7—7,8 г/л, сульфатно-хлоридным и хлоридно-сульфатным натриевым составом.

Характеристика уранового оруденения. Морфология оруденения определяется конфигурацией фронта ЗПО, которая, в свою очередь, зависит от фациально-литологических особенностей уванасского горизонта.

В плане урановое оруденение прослеживается в виде слабоизвилистых лент, повторяющих границы пластового окисления в уванасском горизонте (см. рис. 18).

Морфологически месторождение разделяется на две части: Главную рудную зону широтной ориентировки и участок Коскудук, представляющий собой северную оконечность близмеридионального фронта ЗПО в верхнепалеоценовых отложениях.

Близширотное простиранье Главной рудной зоны осложняется несколькими фестончатыми изгибами, размеры которых возра-

стают на запад. Их ориентировка обязана фациальным взаимоотношениям проницаемых и водоупорных пород в составе уванасского горизонта и направлению регионального потока пластовых вод. На Западном участке они обусловлены струйчатым расположением проницаемых пород среди водонепроницаемых. На Восточном участке изгибы рудной полосы более плавные, контролируемые в известной мере системой малоамплитудных флексурных перегибов общего северо-западного направления. Изгибы, иногда с разрывом сплошности рудной полосы, в плане обычно служат границами рудных залежей, довольно протяженных, прослеживающихся без перерывов на расстояние до 10 км.

Всего на месторождении выявлено 26 рудных залежей, наиболее крупные из которых (№ 1—5), расположенные в Главной рудной зоне, заключают в себе около 70 % всех запасов месторождения. Достаточно сложной морфологией отличается лишь оруденение на Западном участке, где обнаружено 13 относительно мелких залежей.

В поперечных разрезах рудовмещающего горизонта зона пластового окисления развивается в направлении неокисленных пород, сначала с захватом верхнего и нижнего водоупоров, затем на всю проницаемую мощность горизонта и, наконец, внутрислойно — по наиболее проницаемым и наименее восстановленным песчаным отложениям.

Морфологические различия обусловлены также наличием или отсутствием водоупоров в кровле и подошве горизонта, водоупорных прослоев внутри горизонта, литолого-фильтрационной неоднородностью проницаемых отложений, литогеохимическим типом рудовмещающих пород.

Основная масса уранового оруденения в уванасском горизонте локализована вблизи линии полного замыкания пластового окисления. И только на участках Западный и Коскудук, где имеются два или более вертикальных уровня выклинивания ЗПО, основное оруденение значительно (до 1—1,5 км) удалено от границы полного замыкания окисления либо в верхней (уч. Западный), либо в нижней (уч. Коскудук) пачках рудовмещающего горизонта.

Особое место в этом отношении занимает участок Кызымчек Восточный, расположенный в восточной части рудного поля к северу от Главной рудной зоны (см. рис. 18). Здесь в уванасском горизонте, около линии его выклинивания (размыва) была откартирована близмеридиональная полоса забалансового уранового оруденения, отделенная от границ (безрудных) зоны пластового окисления полем сильно осветленных зеленовато-белесых песков шириной до 2—3 км. Данная полоса — вероятно, реликт ураноносного фронта ЗПО, сформировавшегося в ранние этапы эпигенетического рудообразования и впоследствии замаскированного наложенными процессами эпигенетического восстановления.

На большей части Главной рудной зоны урановое оруденение

в поперечном разрезе представлено асимметричным плащевидным ролловым телом с чрезвычайно протяженным (до 1—1,3 км) верхним крылом, локализованным преимущественно в эоценовом «базальном слое» (рис. 19, 20). В западной части Центрального участка и на Западном участке, где водоупором служат глины верхней пачки уванасского горизонта, верхнее крыло ролла (гораздо более короткое) приурочено к подошве этих глин, а не к «базальному слою». Наконец, часть урановорудных залежей, преимущественно в восточной части месторождения, сосредоточена в песчаных отложениях кровли жалпакского горизонта, которые представляют собой «фильтрационные окна» в нижнем глинистом водоупоре. Ширина залежей 30—400 м (без учета оруденения в «базальном слое»).

Содержание урана в рудах варьирует от первых сотых долей до нескольких процентов в отдельных пробах лигнитов, но в целом оно низкое — 0,02—0,04 %. Мощность рудных тел изменяется от 2—3 до 5—7 м, иногда достигает 10—12 м.

Глубина залегания кровли рудовмещающего горизонта от 82 до 126 м в Главной зоне, в южной части участка Коскудук она возрастает до 175 м.

Рудоконтролирующая эпигенетическая зональность в области выклинивания ЗПО, определяющая особенности зонального строения рудных залежей, мало отличается от той, что описана для Мынкудукского месторождения. Некоторые ее специфические черты обусловлены геохимическими особенностями зоны эпигенетически неизмененных пород («нулевая зона»). По сравнению с континентальными пестроцветными верхнемеловыми отложениями образования уванасского горизонта имеют несколько более высокое содержание $C_{орг}$ (0,04—0,07 % против 0,04—0,05 %), а главное — неоднородное распределение: в уванасском горизонте наблюдаются довольно многочисленные остатки, линзы, прослои углефицированной, геохимически весьма активной растительной органики. Геохимическую специфику эоценового «базального слоя» обуславливает относительно повышенное содержание железа (в среднем 3,23 %), его сульфидной формы (0,3 %), фосфора.

Для рудных залежей месторождения Уванас в поперечных разрезах характерны в целом более узкие рудные тела и их подзоны («богатых», «рядовых» и «бедных» руд). Такой же вывод можно сделать и в отношении краевых подзон зоны эпигенетического уранонакопления — передового ореола рассеяния и подзоны разрушения, которые по своим размерам существенно уступают аналогичным подзонам месторождения Мынкудук, но зато выглядят более контрастно.

Распределение сопутствующих компонентов в эпигенетической зональности месторождения Уванас, первенца в Чу-Сарысуйской депрессии, изучено не столь детально, как на других месторождениях.

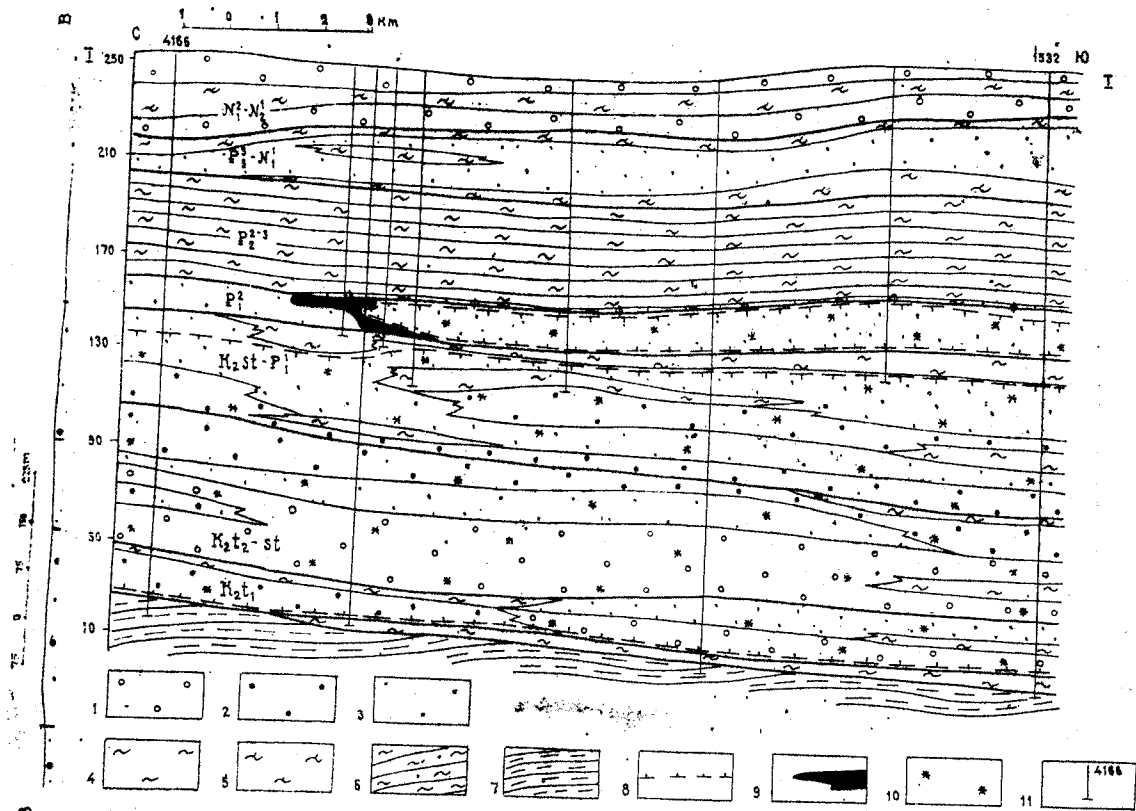


Рис. 19. Позиция уранового оруденения в разрезе Уванаса: 1 — гравийно-песчаные отложения; 2 — разнозернистые пески; 3 — средне- и мелкозернистые пески; 4 — глины; 5 — глины известковистые; 6 — глины морские слоистые; 7 — аргиллиты и алевролиты палеозойского фундамента; 8 — граница ЗПО; 9 — урановорудные залежи; 10 — пластово-окисленные толщи; 11 — буровые скважины, их номера

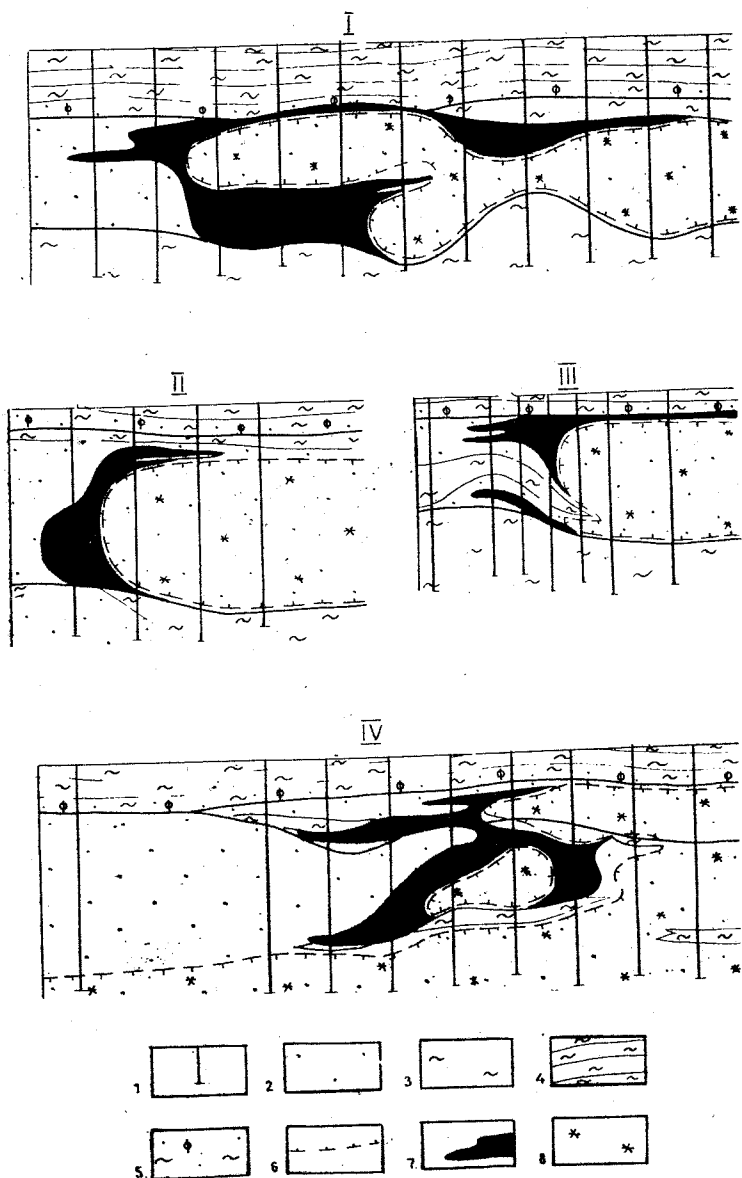


Рис. 20. Основные морфологические типы рудных залежей месторождения Уванас: 1 — буровые скважины; 2—5 — литология: 2 — пески, 3 — глины, 4 — глины тонкослойные морские, 5 — хлориды «базального слоя» с гравием кварца и фосфоритов; 6 — граница ЗПО; 7 — урановое оруденение; 8 — окисленные (лимонизированные) отложения; I—IV — морфологические типы

В зоне уранонакопления определенно отмечаются повышенные концентрации Se, Ni, Co, Zn, Mo, Y, La, Ge (до сотых долей процента), Ag (до 0,0002%), менее уверенно — Cu, Pb, Be. В передовой части зоны окисления (подзона гидроокисного ожелезнения) устойчиво фиксируются рудные и аномальные концентрации селена. Следует отметить, что специально не изучалось распределение редких рассеянных элементов — Re, Sc, Y, TR (только полуквантитативным спектральным анализом). Между тем присутствие их в сернокислых эксплуатационных растворах (до сотых и десятых долей миллиграмма на литр) указывает на то, что, по крайней мере, некоторые из них (возможно, рений) присутствуют в урановорудных залежах в повышенных концентрациях.

Минералогический состав руд. Оруденелые пески визуально не отличаются от безрудных ни по минералогическому, ни по granulometricheskому составу. Они характеризуются несколько более высоким, чем в меловых песках, содержанием полевых шпатов (часто до 20%), слюд — биотита и мусковита (до 10%), углефицированного древесного детрита (около 5%), несколько большим объемом тяжелой фракции (в среднем 3,4% от фракции 0,25—0,1 мм) и ее более разнообразным составом: акцессорные — турмалин, ставролит, ильменит, лейкоксен, гранат, дистен, циркон, рутил, эпидот, коллофан (в «базальном слое»), аутигенные — пирит, марказит, сфалерит, брунцит, бравонит, миллерит, самородный селен, клаусталит, фребольдит, барит.

Урановые минералы на этом месторождении изучались еще без применения электронной микроскопии. Важнейшей особенностью является резкое преобладание коффинита: только в трех из более чем ста случаев по данным рентгеноструктурного анализа установлены два основных минералогических типа пород выделяют коффинитовый (в диагенетически восстановленных песках, содержащих углефицированный растительный детрит) и сульфидно-коффинитовый (зеленоцветные пески с сульфидами железа, но без углистого детрита).

В рудах первого типа, относительно богатых по содержанию урана, коффинит не только находится в алеврито-глинистом заполнителе песков, но и псевдоморфно замещает клеточные полости ткани углистого растительного детрита; ядро клеток при этом выполняется марказитом и пиритом хемогенного или биогенного (глобулярные формы) происхождения. В рудах второго типа (более бедных) коффинит локализуется в алеврито-глинистом заполнителе рудных песков, изредка проникая в микротрещины обломочных зерен. Примерное количественное соотношение первого и второго типов на месторождении оценивается как 2:3.

Лишь минералогический интерес представляют забалансовые руды «лейкоксенового типа», проявленные в подзоне разрушения

(1д), расположенной в тыловой части зоны уранонакопления. Они представлены интенсивно осветленными безжелезистыми песками, иногда с высокой радиоактивностью, обусловленной концентрацией радия в зернах лейкоксенов, которые образуют псевдоморфозы по ильмениту. Реликтовая коффинитовая минерализация в этих рудах связана с глинисто-алевролитовым заполнителем.

Следует подчеркнуть, что в алеврито-глинистой фракции накапливается от 43 до 77% всего урана, содержащегося в пробе. Незначительная часть урана находится в виде примесей в слюдах и коллофане (костные остатки рыб) «базального» эоценового слоя, а также в слюдах.

Сопутствующая минерализация представлена самородным селеном, редко ферроселитом, кобальт-никелевым пиритом (бравонитом) и сфалеритом.

Качественная и геотехнологическая характеристика оруденения. Руды месторождения Уванас являются силикатными, некарбонатными (содержание CO₂ в основном сотые доли процента); характеризуются сравнительно с мынкудукскими рудами более высоким содержанием валового железа (1,69% в песках уванасского горизонта и 3,23% в базальном слое). Эоценовый «базальный слой», кроме того, отличается более высоким средним содержанием C_{орг} (0,37%), пятиоксида фосфора (до 1,5%), оксида магния (до 1,3%) и кальция (до 2,5%).

По данным гидрогеологических откачек установлено, что песчаные руды уванасского горизонта характеризуются сравнительно однородными фильтрационными свойствами: в Главной рудной зоне коэффициент фильтрации песков изменяется в пределах 6—10 м/сут (среднее — 7,2 м/сут), а на участке Коскудук он равен 11,9 м/сут. Основная масса рудных залежей локализована в песках, проницаемость которых выше, чем проницаемость рудовмещающих пород, либо находится на близком с ними уровне.

Важным геотехнологическим показателем являются глинистые водоупоры водоносного продуктивного горизонта.

На всем протяжении месторождения горизонт перекрыт мощным верхним водоупором — морскими глинами интымакского горизонта, а на участках Западном и Коскудук — глинами верхней пачки уванасского горизонта.

На стадии разведки хлориды «базального слоя», содержащие около 20% глинисто-алевритовых частиц, рассматривались как относительный водоупор для рыхлых обводненных песков уванасского горизонта. Заключение о них верхнее крыло рудных роллов на основании проведенных опытных работ было отнесено к технологически забалансовым (слабопроницаемым) рудам. Однако результаты последующих эксплуатационных работ однозначно показали высокую извлекаемость урана из «базального слоя».

Подавляющая часть рудных залежей подстилается достаточно надежным нижним водоупором (см. раздел «Стратиграфия»).

Сквозные песчаные «окна» в нижнем водоупоре общей площадью около 20% распространены на Восточном участке (залежи № 5 и 8), а также на участке Коскудук.

Лабораторные испытания, проведенные на материале технологических проб, хотя и не завершённые, но вполне эффективные полевые опытные работы по ПВ и особенно многолетние эксплуатационные работы однозначно подтвердили в целом высокую извлекаемость урана из руд.

По своим геологическим и структурно-гидрогеологическим особенностям, геотехнологическим параметрам месторождение Уванас признано рудным объектом с исключительно благоприятными условиями отработки методом подземного выщелачивания.

Канжуганский урановорудный район *

Месторождение Канжуган открыто в 1972 г. партией № 5 объединения «Волковгеология» в результате целенаправленного бурения на выклинивании зон пластового окисления в водопроницаемых горизонтах палеоэоцена. Поисковые работы на площади были начаты в 1971 г. после выявления Южно-Казахстанской гидрогеологической экспедицией (совместно с партией № 41 Волковского ПГО) рудопроявления Песчаного, представляющего собой останцовое тело среди окисленных песков среднего эоцена.

Урановое оруденение контролируется региональной границей ЗПО, простирающейся в меридиональном направлении от хр. Большой Каратау через Итмурунскую ступень и Сузакскую впадину (рис. 21). Единая, по сути, рудоносная полоса разделена по физико-географическим условиям и глубине залегания разновозрастных рудоносных горизонтов на два месторождения — Канжуган и Моинкум.

Месторождение Канжуган располагается на предгорной равнине в Итмурунской ступени («поднятый блок») и ограничивается на севере Сузакским межблоковым разломом. По очередности разведки месторождение разделено на два участка. Центральная часть (собственно месторождение Канжуган) полностью разведана, и с 1982 г. проводится ее отработка способом ПВ.

Севернее, в песчаном массиве Моинкум расположено месторождение Моинкум («опущенный блок»). Месторождение, разведанное крайне неравномерно, разделено на три участка: участок № 1 (Южный) разведан и подготовлен к эксплуатации; участок № 2 (Торткудук) находится на стадии детальной разведки; участок № 3 (Центральный), расположенный в наименее доступной части песчаного массива, изучен до стадии прогнозной оценки запасов категории Р₁.

Геологическое строение. Стратиграфия. Канжуган-Моинкум-

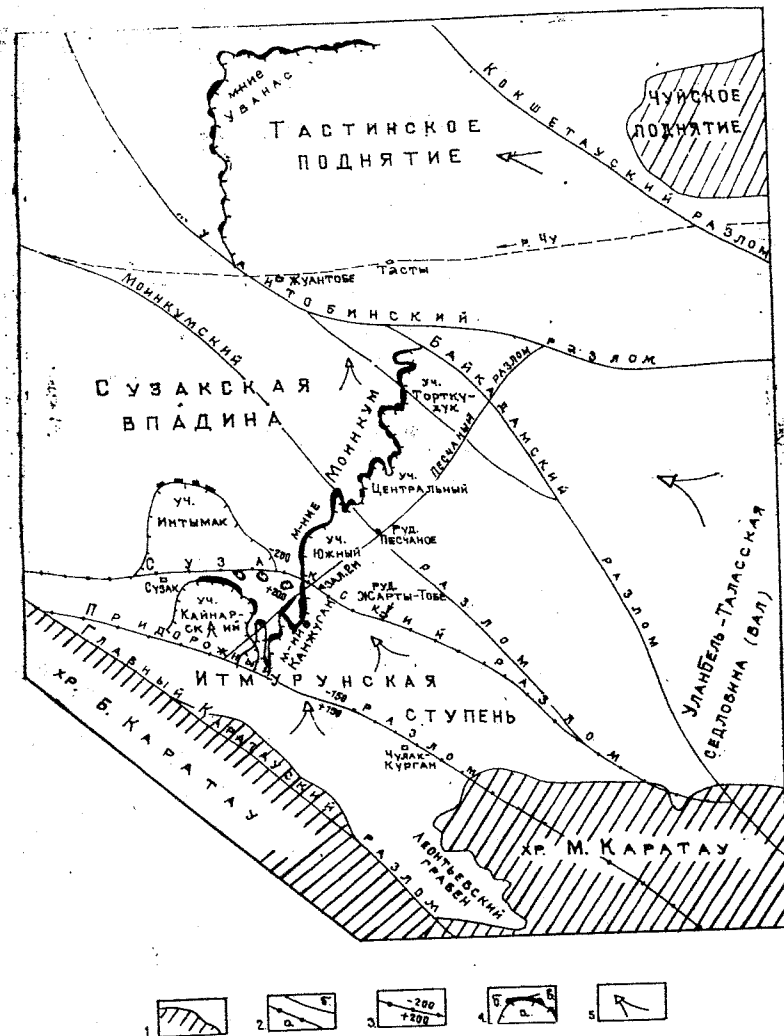


Рис. 21. Схема тектонического строения южной части Чу-Сарысузской провинции: 1 — выходы на поверхность палеозойских пород; 2 — разломы провинции; 3 — амплитуда вертикального перемещения блоков; 4 — геохимические границы, контролирующие урановое оруденение в отложениях палеоэоцена; 5 — главные направления тектонических движений; а — зона окисления, б — сероцветные отложения, в — урановорудные залежи; 6 — сероцветные отложения, в — урановорудные залежи; 5 — главные направления тектонических движений.

* Раздел написан Х. Б. Аубакировым.

ское рудное поле располагается в суборогенной зоне, примыкающей к новейшему Тянь-Шаньскому орогену. На рассматриваемой площади гранитно-метаморфический слой (кристаллический фундамент) сложен докембрийскими породами (гнейсами, кристаллическими сланцами, фосфоритовыми конгломератами), прорванными интрузиями различного состава. Литифицированный осадочный слой (средний и верхний палеозой) наблюдается в основном в Сузакском прогибе в виде мощной (до 2000 м) толщи литифицированных, терригенных и карбонатных пород. Необходимо отметить, что образования, скрытые под мезозойско-кайнозойским чехлом, изучены слабо. Между тем многие выраженные в них наложенные процессы, наблюдаемые в керне вскрывающих домезозойские образования немногочисленных скважин, проявлены и в перекрывающих отложениях.

В разрезе мезозоя и кайнозоя выделяются юрские, меловые, палеогеновые, неогеновые и четвертичные отложения.

Юрские образования раннеальпийского (активизационного) СФК, представленные грубообломочными литифицированными породами с мелкими линзами каменных углей, вскрыты скважинами на юго-восточном фланге месторождения Канжуган, на продолжении Леонтьевского грабена; их мощность более 400 м.

В основании среднеальпийского (платформенного) СФК залегают белесые, желтые и желто-бурые аллювиальные разнотерристые пески с прослоями красноцветных глин общей мощностью до 100 м и более, относимые к верхнему мелу.

К югу от Сузакского разлома, на Итмурунской ступени, меловые отложения практически отсутствуют. Здесь на палеозойских породах залегают образования палеогеновой системы, представленные песчано-глинистыми отложениями палеоцена («пестрый» и канжуганский, или уванасский, горизонты), нижнего и среднего эоцена (уюкский и иканский горизонты) и глинами среднего — верхнего эоцена. Рудовмещающими являются водопроницаемые отложения канжуганского, уюкского и иканского горизонтов.

«Пестрый» горизонт (Pg_1^1) залегает с разрывом на отложениях верхнего мела либо непосредственно на палеозойских образованиях. Горизонт представлен отложениями аллювиальной равнины, включающей русловую и пойменную фациальные зоны: преимущественно пестроцветными известковистыми глинами, алевролитами и кварц-палеовошпатовыми песками с незначительной примесью слюд. Пески, занимающие в разрезе 25—30% мощности горизонта и тяготеющие к нижней его части, состоят преимущественно из белесых и голубовато-белесых мелкозернистых разностей.

Мощность отложений в центральной части Сузакской впадины 20—70 м при относительно равном соотношении глин и песков и до 45 м в приподнятых бортах впадины при преобладании в разрезе песков, грубозернистость которых увеличивается в направлении

выклинивания горизонта к Уланбель-Таласскому валу. На площади месторождения Моинкум проницаемые отложения окислены.

Канжуганский (уванасский) горизонт (Pg_1^2) с незначительным разрывом залегает на отложениях «пестрого» горизонта и в пределах месторождения подразделяется на два подгоризонта.

Верхний, основной рудовмещающий подгоризонт представлен прибрежно- и подводно-дельтовыми фациями, где выделяются русловые песчаные отложения, пойменные алевроиты и глинистые пески, горизонтально- и косослоистые, с отпечатками листьев и остатками растительности, а также отложения низинных и старичных болот и погребенных почв: черные глины, обогащенные гумусовым веществом, углистые алевроиты. Для отложений в целом характерно чередование глин, преимущественно пестроцветных, и песков различной зернистости. В западной части района, в самом верху горизонта, почти повсеместно проявлен маркирующий слой ракушечника.

На обоих месторождениях в верхнеканжуганском подгоризонте среди водоупорных глин нередко появляются линзы и «струи» мелко- и среднезернистых песков, которые на ряде участков картируются в виде протяженных русел среди глинисто-алевритистых образований. Мощность песчаных струй и врезов от 10—15 до 30 м, ширина до 4—5 км, протяженность до 15 км и более. Состав песков полевошпат-кварцевый, с примесью слюд, глинистых и акцессорных минералов; местами пески обогащены растительным детритом и сульфидами железа.

Мощность верхнего подгоризонта в Сузакской впадине варьирует от 60 до 80 м. Глубина залегания кровли горизонта в «поднятом» блоке 130—390 м, в «опущенном» 440—550 м.

В целом отложениям подгоризонта свойственна значительная фациальная изменчивость, особенно резко выраженная в области выклинивания зоны пластового окисления.

Нижнеканжуганский подгоризонт представлен преимущественно мелко- и тонкозернистыми песками, фациально переходящими в глины и алевроиты. Пески полевошпат-кварцевые, с преобладанием белесых и светло-серых разностей. Мощность песков до 10—15 м, глубина залегания 520—550 м. Мощность нижнего водоупора более 10 м, верхнего до 25 м.

Уюкский горизонт (Pg_2^1) подразделяется на три пачки. В нижней части уюкского горизонта выделяется так называемая кызылчинская пачка, с разрывом залегающая на палеоценовых отложениях. Ее накопление происходило в условиях мелководного (глубиной 20—30 м) хорошо аэрируемого бассейна (намывные лагуны, лиманы), поэтому для отложений характерно смещение материала разного происхождения. В низах разреза повсеместно встречается слой зеленых глин с линзами тонкозернистых муцисто-белых и зеленоватых песков. Среднюю часть пачки составляют серые и черные

(углистые) глины, которые на отдельных участках переходят в лигниты, образующие линзы размером от десятков до первых сотен метров и мощностью до 0,8 м. Верхняя часть разреза сложена «шоколадными» (до кирпично-красных) алевропелитами и глинами с ходами роящихся, выполненными песком; они часто замещаются зеленовато-серыми тонкозернистыми песками с чешуйчатым гематитом. В целом пачка сложена водоупорными породами и используется в качестве маркирующей. Ее мощность в «поднятом блоке» до 15 м, в «опущенном» до 20 м.

Средняя (продуктивная) пачка прибрежно-морского и подводно-дельтового происхождения залегает на кызылчинских отложениях с размывом. Об этом свидетельствуют обильные в основании горизонта рыбные костные остатки, наличие типичных пресноводных микропланктонных организмов.

Основная масса песков продуктивного горизонта отлагалась с разносом приносимого палеопотоками терригенного материала в двух направлениях: субмеридиональном и северо-западном (что в основном и определило конфигурацию границы зоны пластового окисления). Пески по составу существенно кварцевые, средне- и мелкозернистые, средней сортировки, малоглинистые. Внутри продуктивной пачки встречаются линзы непроницаемых пород, представленные алевролитами, песчаными алевролитами, глинами, глинистыми песками. Мощность этих линз достигает нескольких метров, иногда до 10 м. Участки распространения непроницаемых отложений вытянуты в плане вдоль фациальных зон. Доля их от общей мощности продуктивного горизонта порядка 10%. Пески продуктивного горизонта нередко содержат окатыши и обрывки глин и алевропелитов диаметром 1—50 мм, при скоплении которых до 50—80% объема породы они образуют линзы так называемой «осадочной брекчии», составляющие не более 2,5% мощности продуктивного горизонта. Мощность таких линз от 0,2 до 4,0 м, чаще 0,5—1,0 м.

Верхняя, водоупорная пачка горизонта представлена глинами, алевролитами, глинистыми песками, фациально переходящими в мелко- и среднезернистые пески, за счет чего мощность продуктивной пачки горизонта колеблется от 13 до 50 м. Глинисто-алевритовые отложения верхней, водоупорной пачки относятся к фациям заболочиваемых участков побережья и лагун, что связано с обмелением бассейна. Об этом свидетельствуют ходы роящихся, отпечатки листьев и корней растений. В нижней части пачки встречаются прослой черных углистых глин, переходящих в лигниты мощностью до 1 м. Мощность верхней глинистой части разреза 10—20 м. Общая мощность отложений уюкского горизонта в «поднятом блоке» до 60 м, в «опущенном» до 80 м.

Иканский горизонт (Pg_2^1) залегает на отложениях уюкского с размывом, наследуя фациальный облик последнего. Граница распространения горизонта в плане субпараллельна таковой для уюк-

ских отложений; на Итмурунском выступе обе границы совпадают, в Сузакской впадине граница иканских отложений проходит в 10—25 км западнее, далее простирается на северо-запад, параллельно бортам впадины. Отложения иканского горизонта разделяются на две пачки (подгоризонты), соответствующие двум максимумам трансгрессий в среднем эоцене: нижнюю пачку прибрежно-морского и подводно-дельтового происхождения и верхнюю прибрежно-дельтового генезиса.

Нижняя пачка представлена мелко- и среднезернистыми песками хорошей и средней сортировки, существенно кварцевого состава. В верхней преобладают плохо отсортированные разномзернистые, участками гравелистые косо- и диагонально-слоистые пески с линзами алевроитов, глин, «осадочных брекчий» с мелким углистым детритом.

В целом в разрезе иканского горизонта пески занимают 60% общей мощности. Состав песков нижней и верхней пачек примерно одинаковый — полевошпат-кварцевый с примесью акцессорных минералов.

Обе пачки песков на значительной площади разделены внутренним водоупором, представленным черными, темно-серыми и зеленоватыми массивными и слоистыми глинами, алевролитами общей мощностью от 0,5 до 5 м.

Глубина залегания кровли песков иканского горизонта в «поднятом» блоке от 70 до 260 м, в «опущенном» от 380 до 500 м. В целом отложения горизонта полого погружаются к западу с постепенным увеличением глинистости и мощности. Общая мощность горизонта до 50—55 м.

Интымакский горизонт (Pg_2^2), залегающий на нижележащих отложениях с угловым несогласием, местами обнажается на поверхности вдоль северо-восточного склона хр. Большой Каратау, в депрессии установлен бурением на глубинах до 440—480 м.

В основании верхнеэоценовых отложений повсеместно залегает базальный слой, представленный разномзернистыми, иногда глинистыми песками с гравием и галькой кварца и фосфорита, с фауной гастропод, зубами акул и фосфатизированными костными остатками рыб. В нижней части базального слоя нередко присутствует прослой известковистых песчаников мощностью 0,5—2 м.

Выше залегает довольно мощная пачка серовато-зеленых и серых морских листоватых глин, алевроитов и аргиллитов. В средней части этой пачки иногда отмечается прослой глинистых песков. В западной части района в основании глинистой пачки встречаются опоковидные и песчаные глины. В восточной и северо-восточной частях района, вблизи линии выклинивания горизонта, глины замещаются мелкозернистыми, преимущественно глинистыми песками.

Отложения позднего эоцена полого погружаются на запад с постепенным увеличением мощности до 70—120 м.

Позднеальпийский активизационный СФК представлен позднеолигоценовыми, неогеновыми и четвертичными отложениями, повсеместно вскрытыми скважинами на глубине до 490 м и обнажающимися в прибортовых частях Сузакской впадины. Они залегают с размывом на различных нижележащих горизонтах и представлены комплексом красно- и пестроцветных образований бетпак-далинской и тогускенской свит.

Бетпак-далинская свита ($Pg_3^3 - N_1^1$) сложена преимущественно массивными и комковатыми красно-бурыми глинами с разнозернистыми песками и песчанистыми слабокарбонатными глинами в нижней части. Общая мощность отложений в наиболее опущенной части Сузакской впадины достигает 200 м, а в приподнятых бортах впадины уменьшается до полного выклинивания.

Тогускенская толща ($N_1^2 - N_2^1$) представлена желтовато-коричневыми и красно-бурыми карбонатными глинами, разнозернистыми песками, нередко с плохо окатанной галькой. Песчаные отложения развиты в основном в нижней части разреза. В осевой части Сузакской впадины мощность отложений 220—275 м, в «поднятом блоке» не превышает 90 м, к бортам впадины постепенно сокращается до полного выклинивания горизонта.

Четвертичные отложения широко развиты на равнинных участках и выполняют современные речные долины, сухие русла, такырные и солончаковые котловины, а также слагают песчаный массив Моинкум. В Сузакской впадине преобладают аллювиально-делювиальные суглинки, супеси и пески с прослоями и линзами глин, а также золотые пески. В предгорьях Каратау доминируют гравийно-галечные отложения. Наибольшие мощности отложений (до 160 м) отмечаются в центральной части описываемого района, на остальной территории они обычно не превышают 10—20 м.

Структурная позиция. Канжуган-Моинкумское рудное поле, как уже отмечалось, располагается в пределах двух тектонических структур: Итмурунской ступени (месторождение Канжуган) и Сузакской впадины (месторождение Моинкум). Эти структуры разделены субширотным Сузакским разломом с амплитудой вертикального смещения поверхности палеозоя 160—200 м, по подошве глинистой толщи верхнего эоцена — до 80 м. Итмурунская ступень отделена от прилегающей с юга Каратауской горст-антиклинальной зоны регионального Главного Каратауского разлома (см. рис. 21).

Итмурунская ступень является погруженным северо-западным продолжением поднятия Малый Каратау. Она разбита разломами каратауского направления на тектонические блоки второго порядка, ступенчато погружающиеся к северо-востоку, в сторону Сузакской впадины. Наиболее крупные из них — Южный и Канжуганский блоки, разделенные Придорожным разломом (сбросом) с максимальной амплитудой вертикального смещения отложений платформенного чехла до 150 м. Южный блок представляет собой

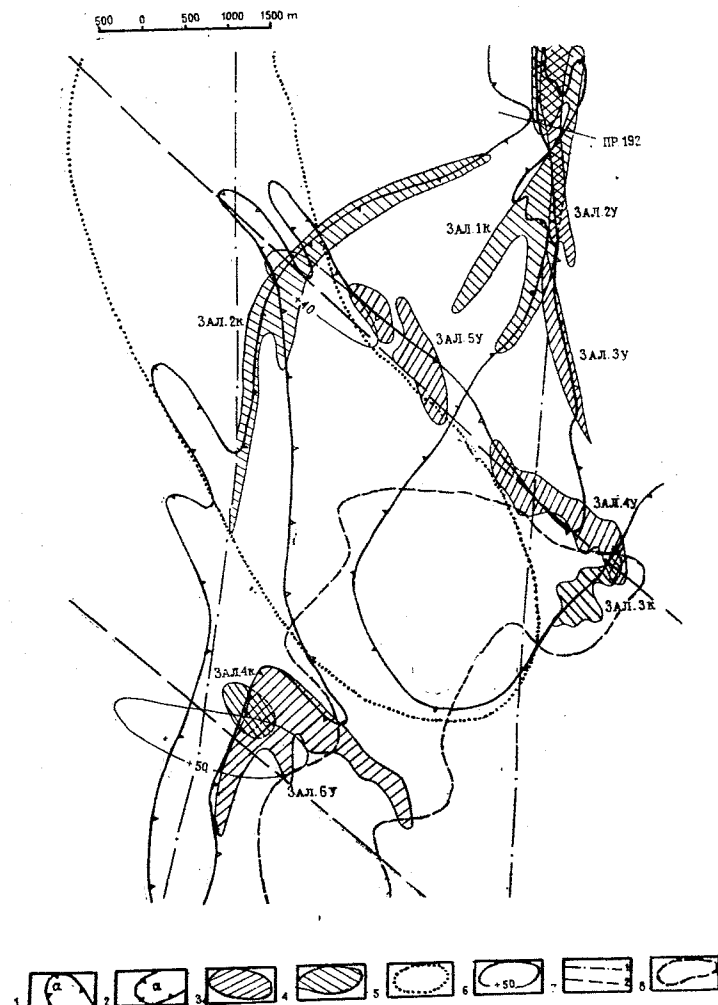


Рис. 22. Тектоническая схема центральной части Канжуганского месторождения: 1 — граница зоны пластового окисления (а) в отложениях уюкского горизонта; 2 — то же, в канжуганском горизонте; 3 — урановые залежи в уюкском горизонте; 4 — то же, в канжуганском горизонте; 5 — участки распространения гидрокربонатно-сульфатных вод среди сульфатно-гидрокربонатных в уюкском горизонте; 6 — локальные поднятия (абсолютные отметки поверхности палеозойских пород); 7 — разломы в палеозойском фундаменте; 1 — установленные методами структурной геофизики и подтвержденные бурением, 2 — предполагаемые; 8 — отрицательные локальные гравиметрические аномалии

довольно крупное асимметричное поднятие, вытянутое на северо-запад. В его пределах отложения палеогена либо отсутствуют, либо имеют ограниченную мощность. Канжуганский блок (ступень) по характеру поверхности палеозойского фундамента — слабо усложненная моноклиналь, полого наклоненная на север под углом около 1° . Вблизи Сузакского разлома отмечаются валообразные поднятия субширотного и северо-западного простирания с относительными превышениями над средним уровнем блока до 50—100 м (рис. 22). Протяженность валов от 7 до 15 км при ширине 1—3 км. Карбонатные породы в их пределах, как правило, интенсивно раздроблены позднейшими подвижками и несут следы гидротермальных изменений (аргиллизация, кальцитизация, гематитизация, сульфидизация, окремнение). Как будет показано далее, по песчаным горизонтам палеогена от палеозойских поднятий нередко развиваются ураноносные зоны окисления, «оторванные» от регионального фронта и названные нами «пузырями окисления».

Сузакская впадина (прогиб), ограниченная с востока Уланбель-Таласской седловиной, с юга — хр. Большой Каратау, сформировалась в результате компенсационных движений при горообразовательных процессах. Об этом свидетельствует хорошо выраженная асимметрия прогиба с максимальными глубинами погружения поверхности домезозойских пород вблизи гор (до 1000 м). Более поздние активизационные процессы сопровождались формированием пологой складчатости в платформенных образованиях. Наиболее крупные из этих структур (купола, валы и т. д.), имеющие длительную историю развития, хорошо выражены не только во всех структурных этажах палеозоя, но и в современном рельефе. Так, Уланбель-Таласская седловина между Чуйским поднятием и хр. Малый Каратау представляет собой сложную систему валообразных и купольных поднятий, выраженных на поверхности срединных частей песчаного массива Моинкум в виде бугров и возвышенностей с относительным превышением до 100 м и более. Консидиментационное сокращение мощности и укрупнение обломочного материала мел-палеогеновых отложений в районе Уланбель-Таласской седловины в значительной мере определили общее субмеридиональное простирание границ региональной ПЮ в этом районе.

Гидрогеологические особенности рудного поля. В районе рассматриваемых месторождений проявлены все три выделяемых в Чу-Сарысуйской депрессии структурно-гидрогеологических этажа (сверху вниз): 1) верхний — преимущественно рыхлых и слаболифифицированных образований этапа новейшей тектонической активизации (Pg_3^3 —Q) с порово-пластовыми скоплениями подземных вод в молассоидах; 2) средний — слаболифифицированных образований этапа платформенного развития (K_2 — Pg_2^3) с порово-пластовыми, иногда трещинно-порово-пластовыми скоплениями подземных вод в терригенных породах; 3) нижний — лифифицирован-

ных домезозойских образований преимущественно с трещинными водами.

В геологическом разрезе позднеолигоценно-четвертичной толщи (верхний этаж) выделяются многочисленные гидравлически связанные водоносные горизонты, невыдержанные как по простиранию, так и по глубине. Наибольшей водообильностью характеризуются горизонты проницаемых пород в пролювиальных шлейфах предгорной равнины хр. Большой Каратау. Расходы скважин в среднем 1—5 л/с при понижениях 2—3 м. Удельные расходы достигают 1 л/с, обычно составляя 0,1—0,5 л/с.

С общей направленностью подземного стока от хр. Большой Каратау и Сузакского разлома в северо-западном направлении связана латеральная гидрохимическая зональность. Слабоминерализованные (0,2—0,5 г/л) гидрокарбонатные кальциевые воды областей питания с концентрацией урана $n \cdot 10^{-7}$ — $n \cdot 10^{-6}$ г/л сменяются ураноносными ($n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-4}$ г/л) хлоридными натриевыми солеными водами и магниевыми натриевыми рассолами (5—20 г/л), приуроченными к отложениям дна бессточных котловин.

Средний гидрогеологический этаж представлен преимущественно водоносным комплексом палеоцен-эоценовых отложений.

Современная область питания подземных вод среднеэоценовых (иканских) отложений располагается на предгорной равнине хр. Большой Каратау, в центральной части Итмурунской ступени. Важное значение в питании подземных вод горизонта в «опущенном блоке» имеет перелив вод по зоне Сузакского разлома из палеозойских образований. Общее снижение пьезометрической поверхности подземных вод на север и северо-запад происходит от Итмурунской ступени, где установлены наибольшие отметки уровня вод (до +40 м над дневной поверхностью). Разгрузка подземных вод Итмурунской ступени осуществляется по Сузакской разрывной структуре путем перелива в неогеново-четвертичные отложения.

Урановое месторождение Канжуган в гидродинамическом отношении размещается на стыке потоков вод северо-восточного и северо-западного направлений.

Морфология меридиональной границы выклинивания зоны пластового окисления на месторождении Моинкум в целом соответствует направлению развития потоков подземных вод. Пьезометрические уровни в центральной части месторождения находятся на 50—70 м ниже дневной поверхности, в северной и южной частях воды самоизливающиеся (15—20 м). Коэффициент фильтрации пород, по данным гидрогеологических откачек, от 1 до 5 м/сут.

Потоки подземных вод в отложениях среднего эоцена отчетливо фиксируются латеральными изменениями величины минерализации. Четко выражены потоки очень пресных вод (0,2—0,3 г/л) в Итмурунской ступени и в «опущенном блоке» (0,3—0,4 г/л), развивающиеся от Сузакского разлома. Эти потоки, по существу, опре-

деляют горизонтальную гидрохимическую зональность на всей изученной территории. Потоки вод от хр. Большой Каратау и северо-западного погружения хр. Малый Каратау в гидрохимическом поле Сузакского артезианского бассейна проявлены менее отчетливо.

Латеральная зональность ионно-солевого состава сопряжена с изменениями величины минерализации подземных вод и характеризуется сменой очень пресных гидрокарбонатных кальциевых вод нормально пресными и пресноватыми гидрокарбонатными натриевыми водами и водами, смешанными по анионному составу. На рудном поле месторождения Канжуган вблизи границы выклинивания зоны пластового окисления распространены сульфатные кальциевые и натриевые воды.

На месторождении Канжуган развиты кислородсодержащие воды с содержанием урана $(3-10) \cdot 10^{-6}$ и $(4-8) \cdot 10^{-7}$ г/л. Концентрация урана в бескислородных водах рудных тел достигает $5,6 \times 10^{-6}$ г/л, тогда как на обширной территории Сузакского бассейна содержание урана в водах восстановительного типа не превышает $1 \cdot 10^{-6}$ г/л.

В уюкском горизонте нижнего эоцена подземные воды распространены только на восточном крыле Сузакского артезианского бассейна, где водоносные отложения представлены песчаными образованиями прибрежных фаций с коэффициентом фильтрации от 6 до 14 м/сут. Движение подземных вод от областей питания, расположенных в предгорьях хр. Большой Каратау, с юга на север. Солончаковые понижения, расположенные в левобережье р. Чу, являются, по-видимому, очагами их разгрузки. Пьезометрическая поверхность горизонта погружается в целом к северо-востоку и определяется напорами от 170 м ниже дневной поверхности на юге месторождения Канжуган до самоизлива (10—20 м) в южной и северной частях Моинкумского месторождения. В гидродинамическом режиме пластовых вод уюкского горизонта немалую роль играет зона Сузакского разлома. По ней, в частности, переливаются в горизонт трещинные воды палеозойского основания, а из уюкского горизонта, в свою очередь, происходит разгрузка вод в неогеново-четвертичную толщу.

Рудное поле рассматриваемых месторождений располагается на стыке потоков вод, развивающихся от хребта Большой и Малый Каратау и характеризующихся весьма слабой минерализацией, изменяющейся по потоку от 0,3 до 0,5—0,92 г/л.

Урановое оруденение меридиональной полосы на месторождении Канжуган фиксируется в гидрохимическом поле сульфатными натриевыми водами (см. рис. 22). На Моинкумском месторождении сульфатные воды отмечаются восточнее урановых залежей. С деятельностью основного потока подземных вод на Итмурунской ступени следует связывать развитие современного пластового окисления на Кайнарском участке и интенсивное перераспределение ура-

нового оруденения, локализованного на выклинивании зоны пластового окисления, что подтверждается максимальными ($n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-4}$ г/л) концентрациями урана в водах зоны оруденения.

В меридиональной полосе уранового оруденения кислородсодержащие воды не контролируют границу выклинивания ЗПО в рассматриваемом водоносном горизонте. Контур распространения кислорода в подземных водах отступает к востоку от фронта окисления на расстояние от 2 до 4 км. Регрессия кислородсодержащих вод в современную эпоху, по-видимому, обусловлена внедрением в рассматриваемый горизонт трещинно-пластовых вод палеозойских образований.

Соответствие современных гидрогеохимических условий и рудоконтролирующей эпигенетической зональности наблюдается севернее Торткудукского участка. Здесь с северо-востока на юго-запад кислородсодержащие воды с концентрацией урана до $1,7 \times 10^{-5}$ г/л сменяются бескислородными водами ($Eh = +58$ мВ), содержащими уран до $4,1 \cdot 10^{-6}$ г/л.

В канжуганском (уванасском) верхнепалеоценовом горизонте Сузакского артезианского бассейна проницаемые породы распространены повсеместно.

Пьезометрическая поверхность подземных вод наклонена с юго-востока на север и северо-запад и с северо-востока на юго-запад к осевой части Сузакской депрессии с пьезоминимумами, приуроченными к бессточным котловинам. Пьезоминимумы свидетельствуют о разгрузке подземных вод палеоценовых отложений в перекрывающие образования. В зоне Сузакского разлома подземные воды горизонта с Итмурунской ступени переливаются в неогеново-четвертичную толщу, а в «опущенном блоке» питаются за счет пьезоуровня вод из палеозойских образований. Пьезоуровни на месторождении Канжуган изменяются с юга на север от —160 м ниже земной поверхности до +25 м вблизи Сузакского разлома, на месторождении Моинкум — от —50 м в Центральной части до +20 м над поверхностью в южной части. Коэффициент фильтрации пород на месторождениях изменяется от 3 до 10 м/сут.

В водоносном горизонте верхнепалеоценовых отложений граница пресных вод удалена от области их формирования на предгорной равнине на 150—200 км, что значительно превышает таковое для всех других горизонтов мезозойско-кайнозойского чехла.

Кислородсодержащие воды обнаружены в рассматриваемом горизонте в юго-восточной части Сузакского бассейна. Содержание урана в них достигает $8 \cdot 10^{-6}$ г/л. Небольшие концентрации кислорода (0,07—0,38 мг/л) установлены в водах рудных тел, «оторванных» от основного фронта выклинивания ЗПО, что позволяет предполагать наличие соответствия гидрогеохимической и эпигенетической рудоконтролирующей зональностей в данной обстановке. В изолированных рудных залежах, связанных с восходящими растворами, вдоль Сузакского разлома локализируются воды, существенно

отличающиеся по ионно-солевому составу от наиболее распространенных вод. Концентрации урана в них находятся в пределах $(3,1 - 3,7) \cdot 10^{-6}$ г/л, кислород отсутствует. Преобладание хлоридов в составе вод может интерпретироваться как результат либо снижения концентрации сульфат-иона (вследствие биогенной сульфатредукции), либо поступления более глубоких вод из домезозойского основания, с которым контактируют продуктивные пески верхнего палеоцена. Об этом свидетельствует также локальный характер сульфатных вод (см. рис. 22).

Направление движения кислородсодержащих вод в северной части Торткудукского участка обусловлено состоянием пьезометрической поверхности, имеющей наклон с северо-востока на юго-запад (от Тастинского поднятия). Концентрация кислорода в подземных водах на этом участке достигает 4—5 мг/л, урана — $6,5 \times 10^{-5}$ г/л.

Подземные воды верхнемеловых отложений питаются в основном трещинно-пластовыми и трещинно-жильными водами палеозойских образований по зонам тектонических разрывов и в первую очередь по Сузакскому разлому. Важное гидрогеологическое значение в этом отношении имеет Главный Каратауский разлом. На юго-западном крыле Тастинского поднятия такую роль выполняет Жуантобинский разлом. Отчетливо выраженные очаги разгрузки подземных вод верхнего мела в регионе не установлены, за исключением перелива вод в районе Итмурунской ступени в неогеново-четвертичную толщу «опущенного блока».

Концентрация урана в подземных водах верхнемеловой толщи характеризуется следующими особенностями. В юго-восточной части потока кислородсодержащих вод она составляет $(3-10) \times 10^{-6}$ г/л, далее на северо-запад снижается до $1 \cdot 10^{-6}$ г/л и менее. Не исключено, что это вызвано разбавлением потока слабоураноносными водами, поступающими с юга, от Сузакского разлома. В западной части потока кислородсодержащих вод концентрация урана вновь увеличивается до первоначальной и составляет $(3-10) \cdot 10^{-6}$ г/л.

При сопоставлении гипсометрии пьезометрической поверхности подземных вод всех рассматриваемых горизонтов и комплексов выявлены различия в абсолютных отметках уровней подземных вод в восточной части региона и совпадение их на западе. Это свидетельствует о возможности гидравлической связи горизонтов, перетоков и переливов подземных вод по различным каналам: зонам тектонических нарушений, эрозионным и фациальным окнам и т. д. Наиболее контрастно гидравлическая связь водоносных горизонтов проявлена в палеогеновой толще.

Гидравлическая связь водоносных горизонтов способствовала образованию рудных залежей, оторванных от основного фронта выклинивания региональных зон пластового окисления («пузыри»). Наиболее благоприятны условия для этого в районе Итмурунской

ступени, на стыке «поднятого» и «опущенного» блоков, а в целом они свойственны восточной части Сузакского артезианского бассейна.

Переливы вод из палеозойских образований в рудовмещающие горизонты установлены на Итмурунской ступени (Придорожный разлом и др.), на ее стыке с «опущенным блоком» (Сузакский разлом) и по зоне Жуантобинского разлома, т. е. по разрывным структурам с наибольшими амплитудами смещения блоков.

Гидрохимическое поле рудовмещающих горизонтов характеризуется сменой по направлению потоков очень пресных вод нормально пресными, пресноватыми, солоноватыми, а на отдельных, наименее промытых участках, и слабосолеными водами с минерализацией от 3 до 10 г/л.

В целом современной конфигурацией гидроизопьез подземных вод рудовмещающих палеогеновых отложений на месторождениях Канжуган и Моинкум можно объяснить морфологию границ зон пластового окисления. Наложенный характер гидрохимической зональности, по мнению автора этого раздела, отмечается лишь на участках перелива подземных вод восстановительного типа, где граница кислородсодержащих вод, откартированная в водоносном горизонте нижнеэоценовых отложений, отступает к востоку от фронта зоны пластового окисления.

Урановое оруденение. По особенностям размещения и условиям формирования рудные залежи на рассматриваемых месторождениях можно разделить на три типа: 1) контролируемые региональным фронтом зоны пластового окисления, 2) связанные с останцами сероцветов в пределах региональных зон пластового окисления, 3) связанные с локальными участками окисления («пузырями») среди неокисленных сероцветов.

Урановое оруденение, контролируемое региональными границами зон пластового окисления, в палеогеновых продуктивных горизонтах повсеместно приурочено к водопроницаемым песчаным отложениям, заключенным между водоупорами глинисто-алевролитовых образований.

По морфологии в плане на месторождениях выделяются две группы рудных залежей: сложные изометричные и продолговатые и более простые, лентообразные (см. рис. 22). Хотя все залежи в целом контролируются региональной границей ЗПО, обращают на себя внимание залежи изометричной формы, где такой контроль проявлен нечетко. Подобные залежи, состоящие в основном из крыльев ролла, вытянутых в сторону зоны окисления, отнесены нами к полуостанцовому типу.

Размеры рудных залежей варьируют в широких пределах. Наиболее крупные — залежи лентообразной формы длиной от 3—4 до 20—30 км при ширине 200—1000 м. Залежи средних размеров имеют протяженность 1—3 км при ширине для продолговатых залежей до 50—200 м, изометричных — до 1450—2500 м. Размеры

мелких залежей сотни метров (до километра) при ширине обычно 50—100 м. В каждой залежи выделяются контролируемые местными осложнениями геологического строения рудные тела, число которых варьирует от единиц до десяти, редко более.

Морфологически в разрезе установлены роллы с мешковыми частями и крыльями и линзообразные тела, локализованные в подошве, внутри и реже в прикровельной части продуктивного горизонта.

Ролловые формы характерны для большинства залежей и контролируются фронтальной частью зоны пластового окисления. По ширине выделяются узкие роллы (до 50 м), связанные чаще всего с фланговыми частями языка окисления, и широкие роллы (до 150—200 м) — во фронтальных частях ЗПО. При встречном развитии двух и более языков окисления, их сближении или кулисообразном размещении формируются сложные тела с раздувами по мощности до 15—20 м и более. Мешковые части роллов на месторождениях в целом занимают подчиненную роль, и в общем балансе распределения запасов по морфологическим типам их доля не превышает 20%. Крылья ролла развиты более широко. На более часто проявлено нижнее крыло, имеющее нередко сложный линзующийся характер. Верхнее крыло проявлено значительно слабее, а на отдельных залежах зачастую отсутствует. Отмечается и обратная картина.

Линзообразные рудные тела в подошве продуктивного горизонта, в которые иногда переходит нижнее крыло ролла, формируют изометричные залежи — рудные линзы шириной сотни метров и длиной до 1000 м (редко более), простирающиеся вдоль границ ЗПО. Наиболее распространены линзовидные рудные тела в средней части разреза продуктивного горизонта. Рудные линзы протяженностью от первых сотен до 1000 м (и более) и шириной от нескольких десятков до 400—500 м в составе некоторых залежей присутствуют по всему разрезу продуктивного горизонта. Они связаны с участками максимально неоднородного разреза, где большую роль играют линзы глин и алевролитов, осложняющих конфигурацию рудогенерирующих зон окисления. Поэтому каждая из рудных линз представляет собой, как правило, один из элементов рудных тел, контролируемых мелкими языками зоны пластового окисления.

Четкой дифференциации содержания урана по морфологическим типам рудных тел не выявлено. Следует, однако, отметить, что в мешковых частях ролла, сформированных на основном фронте зоны окисления, содержание урана заметно ниже, чем в крыльях или линзообразных телах. Кроме того, нередки случаи роста содержания урана с увеличением мощности рудного тела.

Урановое оруденение в сероцветных останцах зоны пластового окисления встречается на месторождении Моинкум в тыловой части ЗПО — на удалении от основного фронта до нескольких, иногда

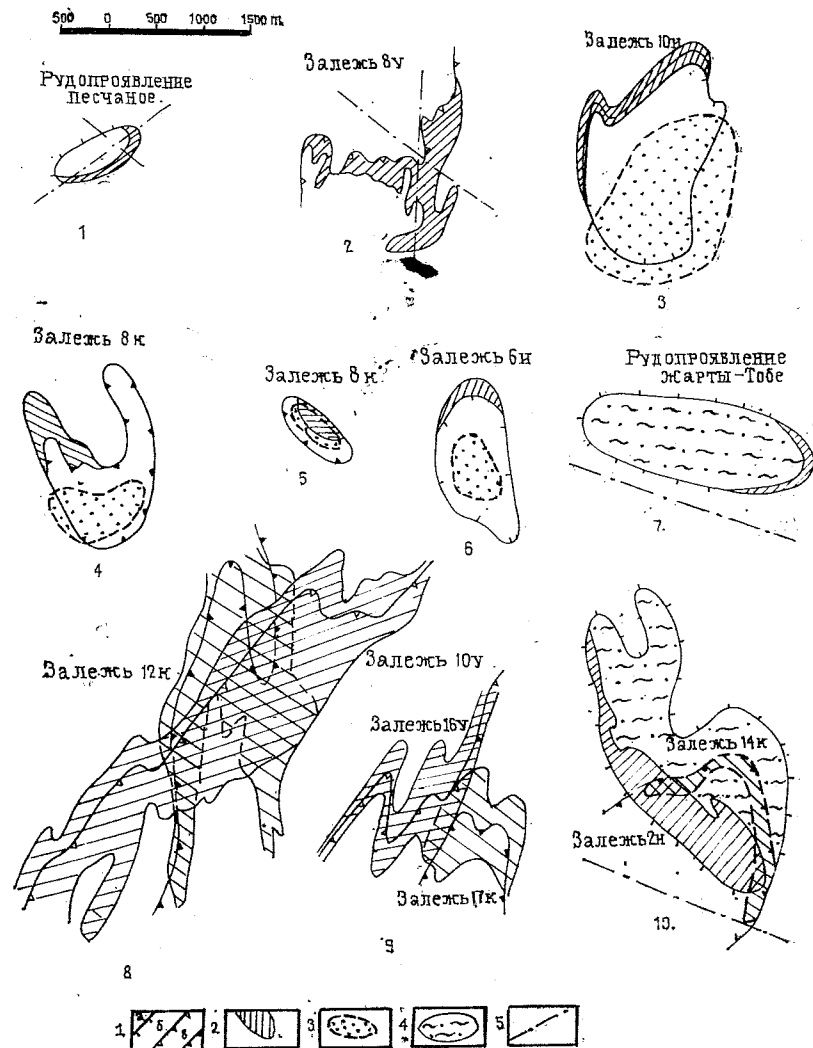


Рис. 23. Морфологические типы рудных залежей месторождений Канжуган и Моинкум: 1 — границы зон пластового окисления в горизонтах (штрихи в сторону окисления пород): а — иканском; б — уюкском; в — канжуганском; 2 — урановорудные залежи и их номера (и, у, к — начальные буквы названия горизонтов); 3 — гидравлические песчаные «окна» в нижнем водоупоре продуктивных горизонтов; 4 — участки повышенной глинистости продуктивных горизонтов; 5 — тектонические нарушения в палеозойском фундаменте; 1—10 — примеры рудных залежей

да до десятков километров; например, залежи 1и (на рудопроявлении Песчаное), 2и, рудопроявление Жартытобе и другие (см. рис. 23). К этой же группе можно отнести рудные залежи полуостанцовой формы, возникшие на клинообразном «отставании» границ ЗПО: залежи 4у, 6у, 8у (см. рис. 23, 2) и другие.

По размерам и параметрам оруденения почти все указанные залежи относятся к категории промышленных. Протяженность их колеблется от сотен метров до нескольких километров. Все залежи останцовой и полуостанцовой форм характеризуются более контрастными рудами и наличием рудных урановых концентраций, иногда достигающих в пробах целых процентов, а в отдельных интервалах 15—23% (уч. Торткудук). Руды с содержанием урана иногда до 10% и более представлены обычно разнотонными песками с примесью обрывков глин и алевролитов разного состава и цвета, интенсивно пиритизированных обломков растительной органики и т. д. Их сложный литологический состав, наличие обрывков непроницаемых пород, обилие зеркала скольжения и других деформаций, по мнению автора раздела, прямо указывают на тектоническую проработку пород.

Интервалы богатых руд контролируются, как правило, своеобразной зональностью. Рудный интервал выше и ниже по разрезу контактирует с интенсивно осветленными (белесыми) песками, которые вверх и вниз переходят в серые, затем в желтые (лимонитизированные). Мощность белесых и сероцветных пород от нескольких сантиметров до первых метров, причем кайма обеления шире вблизи более богатых руд. Данная зональность, а также наличие окисленных окатышей глин в сероцветных рудных песках указывают на участие в рудообразовании растворов как с агрессивными окислительными, так и с восстановительными свойствами.

В структурно-тектоническом плане почти все рудные залежи останцовой и полуостанцовой форм приурочены к узлам пересечения северо-западных разломов с северо-восточными и субмеридиональными, откартированными геофизическими и морфометрическими методами. Так, залежи 4у, 6у, 8у расположены на пересечении субмеридиональных и северо-западных разломов (см. рис. 22, 23, 2), залежи 1и (рудопроявление Песчаное) — на пересечении северо-западного и северо-восточного нарушений (см. рис. 23, 1).

Хорошая проявленность большинства разломов в современном рельефе свидетельствует о подновлении их в поздние, неогено-четвертичные, этапы активизации, с которыми, по мнению автора раздела, связываются урановорудные процессы.

Роль фациально-литологического фактора в формировании залежей останцовой и полуостанцовой форм отчетливо выражена в случае залежи 2и и рудопроявления Жартытобе (см. рис. 23, 7, 10), где рудные залежи связаны с «островами» сероцветных пород, пред-

ставленных пойменными образованиями в прибрежно-дельтовой зоне. Подобные «острова» располагаются, как правило, вблизи палеорусел, приуроченных обычно к зонам долгоживущих разломов, таких, как Сузакский, Жуантобинский, Придорожный и другие. Например, залежи 2и и рудопроявление Жартытобе находятся в зоне Сузакского разлома, вдоль которого в продуктивных горизонтах картируются отложения русловых и пойменных фаций, представленные чередующимися в разрезе глинами, алевролитами, мелко- и тонкозернистыми песками, местами с большим содержанием остатков растительной органики. Водопроницаемость пойменных образований по сравнению с русловыми и прибрежно-морскими значительно ниже (из-за повышенной глинистости песков).

В некоторых случаях островные участки образуются вследствие резкого замещения песков глинами и алевролитами, которые, располагаясь на пути движения кислородсодержащих вод, способствуют сохранению неокисленных участков сероцветных песков (Жартытобе). Урановое оруденение в данном случае формируется чаще всего в глинах и алевролитах на контакте с окисленными песками во фронтальной части потока либо в сероцветных песках, на флангах потока кислородсодержащих вод. При этом рудные залежи в плане имеют форму полумесяца и ширину обычно не более 50—100 м. Руды в глинах и алевролитах характеризуются большей контрастностью, чем оруденение в песках, и сравнительно высоким содержанием урана — до 0,1% и более, тогда как в песках на флангах потока оно не превышает первых сотых долей процента. Одной из причин относительно высокой контрастности руд является повышенное содержание остатков растительной органики: среднее содержание $C_{орг}$ в рудных песках останцов 0,2—0,6%, а в рудах на основном фронте ЗПО не более 0,1%.

В водах, омывающих рудные залежи, расположенные в зонах тектонических разломов либо в тектонических узлах, отмечаются повышенные концентрации газообразного углеводорода, сероводорода, водорода, ртути и других элементов (залежи 2и, 4у, 8у, рудопроявление Песчаное и др.). При этом аномальные концентрации газов отмечаются и в почвенном воздухе (фиксируются при атмогеохимической и ртутной съемках). По мнению автора раздела, газы, растворяясь в пластовых водах и создавая локальный геохимический барьер в продуктивных горизонтах, на протяжении позднейшей геологической истории могли способствовать уранонакоплению в отрыве от основного фронта ЗПО.

Урановое оруденение, связанное с изолированными участками окисления, выявлено впервые на Канжуганском месторождении в 1978 г. Этот новый морфологический тип рудных залежей, связанных с локальными участками окисления («пузырями») в пределах площадей распространения сероцветных отложений (залежи 6к, 8к, 10к и др.), позволил уточнить взгляды на процессы рудообразования в данном районе и расширить фронт поисковых работ. По

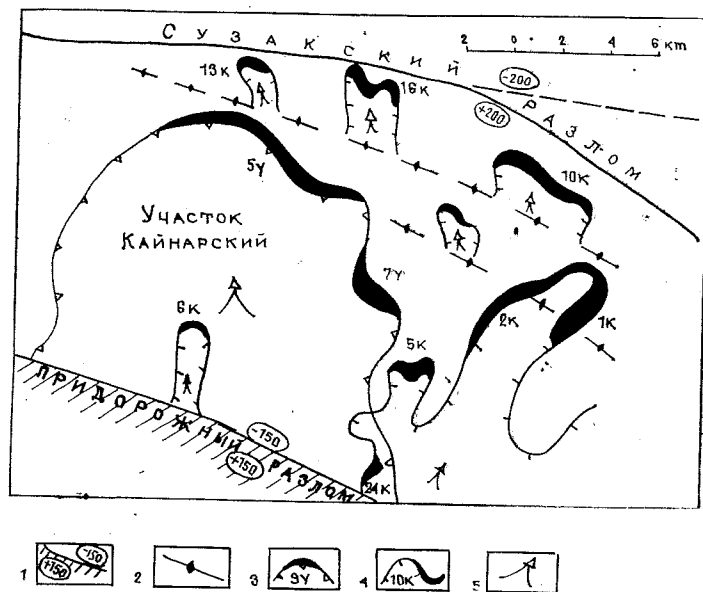


Рис. 24. Изолированные рудные залежи на месторождении Канжуган: 1 — блоковое поднятие палеозойского фундамента (с амплитудой вертикального смещения, м); 2 — оси сводообразных поднятий фундамента; 3 — граница зоны пластового окисления и номер урановорудной залежи в уюкском горизонте; 4 — то же, в канжуганском горизонте; 5 — направление движения рудообразующих потоков подземных вод

условиям формирования выделяются два основных типа рудных залежей.

К первому типу относятся рудные залежи, сформированные потоками кислородсодержащих ураноносных растворов со стороны блоковых, купольных или валлообразных поднятий палеозойского фундамента, перекрытого чехлом кайнозойских толщ (рис. 24, 25). Растворы, внедряясь в водопроницаемые горизонты по активизированным блоковым разломам и оперяющим трещинам и растекаясь к областям разгрузки, образуют различного размера (от сотен метров до десятков километров по протяженности) окисленные зоны среди сероцветных отложений. Конфигурация и размеры изолированных участков окисления зависят от фациально-литологических особенностей продуктивных горизонтов, размеров и форм поднятий, характера разломов (раскрытость, мощность и т. д.). Со стороны крупных блоков и от межблоковых разломов распространяются довольно обширные участки окисления (см. рис. 24, участки Кайнарский, Интымак). В ряде случаев такие участки имеют форму языков протяженностью от сотен метров до первых де-

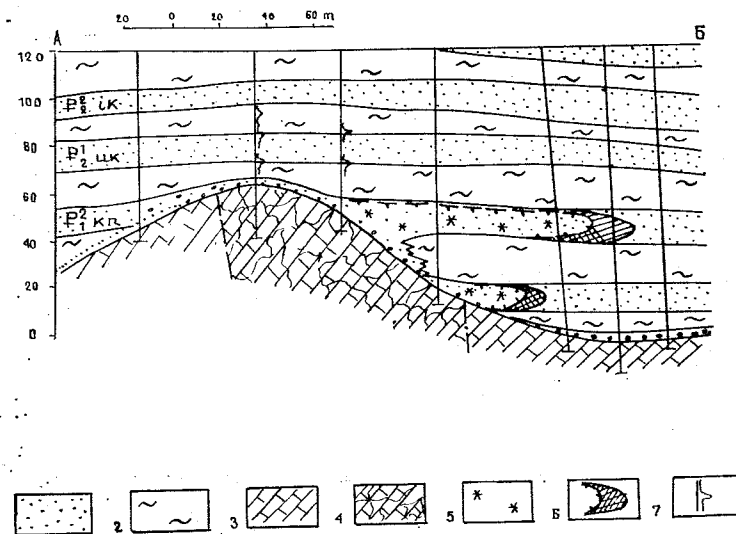


Рис. 25. Геологический разрез по линии А—Б: 1 — пески; 2 — глины, алевроиты; 3 — мраморизованные известняки палеозойского фундамента; 4 — зоны дробления и гидротермальных изменений пород; 5 — зона пластового окисления (лимонитизация); 6 — урановорудные тела; 7 — буровые скважины и радиоактивные аномалии по данным гамма-каротажа

сятков километров при ширине от сотен метров до первых километров (залежи 1к, 2к, 5к и др.).

Второй тип представлен рудными залежами, сформированными ураносодержащими растворами, проникавшими снизу через литологические «окна» в верхнем водоупоре продуктивных горизонтов. В песках ниже лежащих продуктивных горизонтов на таких участках проявлено пластовое окисление. Примерами данного типа залежей являются залежи 6к, 8к на месторождении Канжуган, 5и, 6и, 10и на месторождении Моинкум (см. рис. 23, 3, 6).

Таким образом, для рассматриваемых месторождений характерно множество морфологических типов рудных залежей. Особый интерес среди них вызывают недостаточно изученные залежи изометричной формы, наиболее крупные по запасам. Остановимся на некоторых особенностях этого типа.

Характерной чертой рудных залежей изометричной формы является часто встречающееся «телескопирование» (многоэтажность) оруденения, совпадение в плане рудных залежей в смежных продуктивных горизонтах (рис. 26). При этом урановое оруденение залегает, как правило, в двух горизонтах: 3к — 4у, 4к — 6у, 12к — 10у, 17к — 16у (северо-восточный фланг), 14к — 2и; 1к, 2к — 2у и других (см. рис. 23, 8, 9, 10).

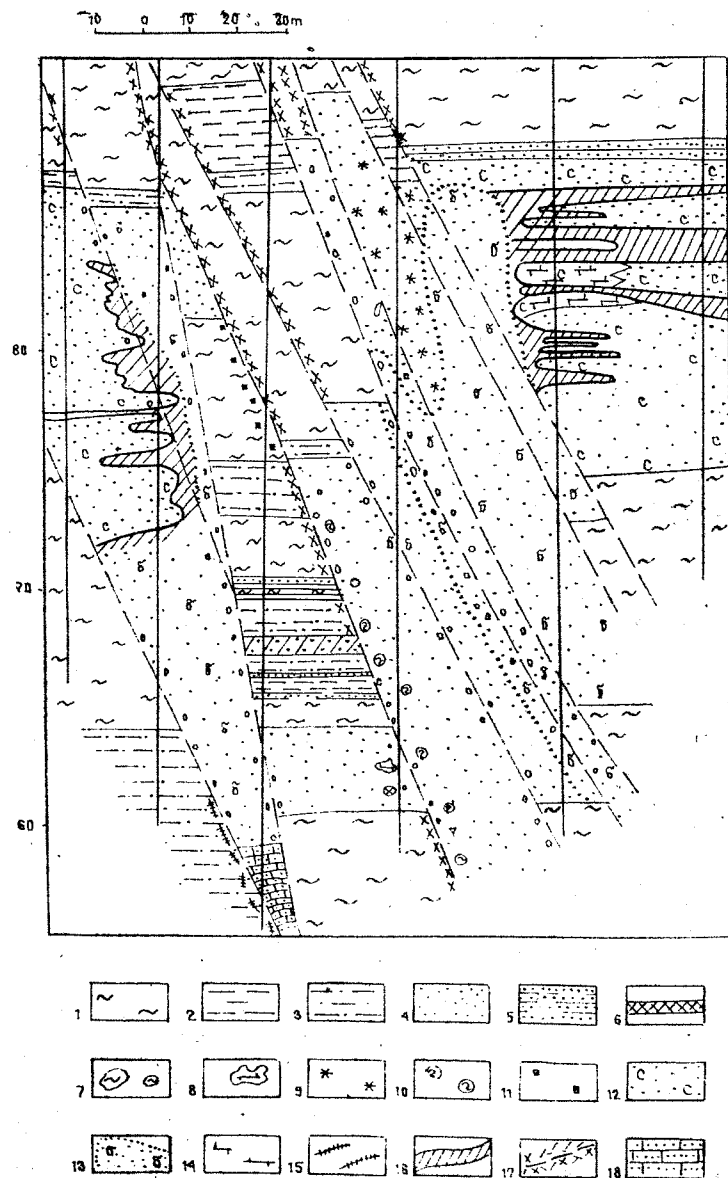


Рис. 26. Геологический разрез по профилю 192 на месторождении Канжуган: 1 — глины; 2 — алевролиты; 3 — алевроиты песчаные; 4 — пески мелко- и среднезернистые; 5 — пески глинистые; 6 — лигнит; 7 — «обрывки» и окатыши глин и алевролитов; 8 — обломки известкового песчаника;

Для указанных залежей закономерен довольно резкий раздвиг ширины и мощности рудных тел независимо от содержания восстановителей в отложениях продуктивного горизонта. Таким залежам свойственно и относительно богатое содержание урана в руде, и наличие участков с выдающимися по контрастности и продуктивности рудными концентрациями. Последние обычно приурочены к сложным и пестрым по составу отложениям с окатышами и обрывками глин и алевролитов, с обилием зеркал скольжения в водоупорных породах.

Состав рудовмещающих песков, как правило, полевошпат-кварцевый, с неравномерным содержанием мелкочешуйчатых слюд (мусковита, серицита, гидромусковита, осветленного биотита). Содержание слюдястых минералов заметно возрастает вблизи рудных залежей, создавая своеобразный ореол «слюдизации» («аргиллизации»). Если обычный фон содержаний слюдястых минералов в неизмененных серых песках за пределами локально окисленных участков составляет 0,45—0,7%, то в оруденелых, а также в окисленных песках возле рудных тел содержание слюды составляет 4—5%. Ширина ореолов «слюдизации» достигает нескольких десятков метров.

Урановое оруденение сопровождается интенсивной пиритизацией, гетитизацией, гематитизацией. Пирит отмечается как по зеркалам скольжения в глинистых породах, так и в виде мельчайших глобулярных выделений на остатках растительной органики и в цементе песков. В некоторых случаях пирит полностью заполняет межзерновое пространство песков, образуя базальный цемент. Мощность таких песчаников на пиритовом цементе достигает десятков сантиметров.

Гематитизация и гетитизация проявлены в виде интенсивного покраснения, побурения песков вблизи рудных залежей. Ширина интенсивного ожелезнения измеряется обычно десятками метров, в редких случаях достигает 50—100 м. При этом интенсивное ожелезнение наблюдается не только возле рудных залежей, но и на удалении от них в сторону ЗПО; нередко оно отсутствует.

Резкая неравномерность ожелезнения характерна как для зоны окисления, так и для зарудных сероцветных пород. Максимальное содержание железа на участках ожелезнения достигает нескольких процентов. Все это может свидетельствовать о локальном привносе железа в зону уранонакопления.

К наложенным изменениям относятся карбонатизация и осветление (обеление) песков продуктивного горизонта. Эти изменения, как и ожелезнение, носят неравномерный характер. На некоторых локальных участках карбонатизация песков приводит к образова-

9 — участки интенсивной лимонитизации; 10 — желваки гематита, гетита; 11 — пирит мелкоагрегативный; 12 — сероцветные пески; 13 — белесые (каолинизированные) пески; 14 — карбонатизированные пески; 15 — кварцевые прожилки; 16 — урановая руда в песках; 17 — зоны дробления; 18 — песчаники на известковистом цементе

нию песчанников с карбонатным цементом. При этом карбонатизируются породы различного состава и проницаемости, иногда с включениями остатков растительной органики. Местами карбонатизации подвергнут весь горизонт песков с формированием на локальных участках как бы расслоенных столбов карбонатных песчанников диаметром от десятков до первых сотен метров (северная часть залежей 1к, 2к). В этих случаях карбонатизированными оказываются частично и рудные интервалы. Карбонатизация в подстилающих водоупорных глинисто-алевритистых породах проявлена в виде кальцитовых прожилков, которые особенно часто встречаются в породах палеозойского фундамента. Таким образом, карбонатизация носит «сквозной» характер — от палеозойского основания до эоценовых горизонтов включительно. При этом взаимоотношения карбонатных прожилков с прожилками гематита и сидерита свидетельствуют о существовании по меньшей мере двух стадий проникновения карбонатных растворов: до поступления железа и после. По времени данные процессы близки к рудообразующим, так как и ожелезнение, и карбонатизация сопровождают урановое оруденение.

Обеление песков встречается повсеместно и картируется перед подзоной интенсивного ожелезнения, в некоторых случаях подзона обеления граничит с зоной оруденения. Белесые пески отличаются от неокисленных светло-серых песков почти полным отсутствием органических остатков, обедненным спектром химических элементов, чрезвычайно низким содержанием железа, частичной или полной каолинизацией полевых шпатов, слюдизацией. В разрезе белесые пески иногда могут чередоваться с обожженными или даже контактировать с оруденелыми песками. Но чаще участки обеления оторваны от рудной зоны на десятки и сотни метров.

С глубиной процесс обеления песков приобретает более широкий размах: если для верхнего (иканского) горизонта осветление песков — большая редкость, то в уюкском и канжуганском горизонтах островные участки обеления встречаются довольно часто, а в «пестром» горизонте обеленные пески и алевриты распространены почти повсеместно. В глинах и алевритах обеление часто развивается вдоль тектонических трещин и зон дробления.

Важным признаком является структурный контроль участков обеления, которые пространственно тяготеют к валам, куполам, тектоническим узлам и некоторым зонам дробления (см. рис. 26). Эти участки в поле силы тяжести Δg пространственно иногда совмещаются с относительными минимумами (см. рис. 22), а на карте магнитного поля приурочены к областям развития положительных аномалий и их периферийным частям.

Породы палеозойского основания, представленные известняками и доломитами, на таких участках интенсивно передроблены, подвергнуты наложенным изменениям (осветлены за счет карбонатизации, окремнения, иногда каолинизации, местами гематитизи-

ваны по трещинам). Содержание урана в них достигает 0,003% при фоне в окружающих неизмененных породах 0,0002—0,0003%. Измененные породы характеризуются практически полным выносом содержащихся в них халькофильных и частично сидерофильных элементов.

Урановое оруденение, связанное с изолированными очагами окисления, местами сопровождается аномальными концентрациями марганца (до 0,11%), фосфора (до 0,1%), молибдена (до 1%), цинка и свинца (до 1% и более), германия (до 0,1% и выше), мышьяка (до 0,3%) и т. д. При этом среднее содержание некоторых из указанных элементов в 1,5—4 раза выше, чем в залежах, сформированных на региональном фронте ЗПО. Кроме того, над локальными очагами ЗПО в перекрывающих песчаных и глинистых (уюкском, иканском горизонтах, морских глинах верхнего эоцена) местами формируется ореол радиоактивных аномалий и повышенных концентраций никеля, свинца, цинка, стронция, бария, иттрия и других элементов. Вертикальный размах ореола 200—300 м. Этот факт, по мнению автора, имеет единственное объяснение: ореол образовался в результате проникновения глубинных растворов по активизированным разломам и ослабленным зонам*.

Рудоконтролирующая эпигенетическая окислительная зональность на месторождениях Канжуганского рудного района имеет тот же вид, что и на других месторождениях Чу-Сарысуйской УРП (см. рис. 10).

Зона эпигенетически неизмененных пород представлена первично сероцветными или зеленоцветными породами, визуальнo неотличимыми от рудных. Местный геохимический фон содержаний урана, молибдена, меди, бериллия, мышьяка, марганца в 5—10 раз превышает их кларки по Таркяну и Ведеполу.

Зона восстановления (эпигенетического ураноаккумуляция) характеризуется повышенными концентрациями валового железа (1,38—3,07%) и обычными для палеогеновых песков содержаниями $C_{орг}$ (0,021—0,237%).

Помимо уранового оруденения, образующего подзоны «бедных», «рядовых» и «богатых» руд, выделяются подзоны ореола рассеяния в передовой части зоны и разрушения оруденения в тыловой ее части.

Среди элементов, накапливающихся в зоне уранового оруденения, представляют интерес Se, Re, Sc, Mo, V, Y, Ge, Ag.

Среднее содержание селена в рудных залежах колеблется в широких пределах, составляя в иканском горизонте 0,004%, в уюкском 0,006%, в канжуганском 0,024%. Устойчивых закономерностей в распределении селена в профиле эпигенетической зональности на месторождениях не установлено, намечается тенденция к накоплению селена в рудных песках канжуганского горизонта.

* Приведенные особенности вполне объяснимы и с позиции эпигенетического пластово-инфильтрационного происхождения оруденения. — Ред.

В уюкском горизонте южной части месторождения Моинкум селен преимущественно концентрируется в сероцветных рудных песках, в центральной и северной частях — в зоне окисления. Относительно повышенными содержаниями селена отличаются основные залежи участка Южного на месторождении Моинкум, где максимальные их значения в уюкском горизонте иногда достигают 0,447% и в канжуганском — 0,353%. Отмечается некоторая тенденция к накоплению селена главным образом в крупно- и среднезернистых фракциях песков.

Селеновое оруденение (в контуре 0,01%) выделяется в виде мелких разрозненных линз мощностью от 0,2 до 5,0 м, шириной до 150 м, по простиранию не превышающих 400 м и, как правило, не совпадающих с контуром урановых руд.

Содержание рения в урановых залежах месторождений крайне мало — от 0,08 до 0,38 г/т (среднестатистические данные). Максимальные концентрации его в контуре урановых руд достигают 1,9 г/т (иканский горизонт), 3,85 г/т (уюкский) и 4,8 г/т (канжуганский).

Относительно обогащены рением наиболее крупные рудные залежи на участке Южном (среднее содержание 0,17 и 0,20 г/т). Наибольшие концентрации рения (в среднем до 1 г/т) отмечаются в северной части Моинкумского месторождения (на участке Торткудук) и на крайнем юге месторождения Канжуган (залежь 24к). Рений концентрируется преимущественно в тонкозернистых глинистых разновидностях песков с закономерным ростом содержаний в разрезе сверху вниз — от иканского к канжуганскому горизонту (практически по всем разновидностям пород).

Морфологически обогащенные рением участки (в контуре 0,5 г/т) представлены в виде мелких разрозненных линз мощностью 0,1—10,0 м, шириной не более 50 м, не прослеживающихся по простиранию. Исключение составляет участок Торткудук, где рениеносные тела по своим размерам приближаются к урановым. Большинство рениеносных линз расположено в контуре урановых руд, изредка выходя за их пределы в подзону ореола рассеяния урана.

Средние содержания скандия в рудных залежах от 2,3 до 3,2 г/т. В профиле эпигенетической зональности закономерности в распределении скандия не наблюдается, отмечается лишь тенденция к некоторому обогащению зоны окисления в уюкском горизонте и зоны восстановления в канжуганском.

Наблюдается закономерный рост содержаний скандия от крупно- к мелко- и тонкозернистым фракциям песков. В водонепроницаемых глинистых породах содержание скандия в 3—10 раз выше, чем в песках, и местами достигает 20,9 г/т. Максимальные концентрации встречаются в оруденелых линзах внутренних водоупоров и не зависят от содержаний урана.

Обогащенные скандием участки руд представляют собой единичные линзы (в контуре 6 г/т) мощностью 0,3—2,0 м, не прослеживающиеся по ширине и простиранию. В целом урановорудные залежи характеризуются фоновыми содержаниями скандия (2,6—3,0 г/т), такими же, как и в безрудных сероцветных песках.

В урановых рудах происходит незначительное накопление Mo, V, Ag, Ge, As, Be, Zn, Co, Ni, Y.

Максимальные концентрации большинства перечисленных элементов приурочены к участкам, обогащенным растительным детритом, и составляют (%): ванадия — 0,01, германия — 0,00018, мышьяка — 0,04, бериллия — 0,003, цинка — 1,0, никеля — 1,0, кобальта — 0,08. Сумма редких земель в рудах колеблется от 0,0021 до 0,0105%, в среднем (по 80 анализам) 0,0051%.

Урансодержащие лигниты характеризуются значительными концентрациями кобальта (до 0,02%), никеля (0,01%), иттрия (0,08%) и повышенными содержаниями серебра (до $11,4 \cdot 10^{-6}$ %). В глинах помимо скандия отмечаются повышенные содержания бериллия и германия.

Ореолы молибдена со средними содержаниями до 8 г/т (иканский горизонт), 5 г/т (уюкский) и 4,4 г/т (канжуганский) приурочены к головным частям урановорудных залежей и подзоне ореола рассеяния урана в сероцветных породах. В целом относительно обогащены молибденом участки Южный и Торткудук на месторождении Моинкум [25].

В этом отношении особенно должен быть выделен участок Торткудук, где, по данным М. Ф. Максимовой, в зоне эпигенетического уранонакопления установлены заметно повышенные концентрации ряда элементов. Их средние значения соответственно для рядовых и богатых урановых руд таковы (г/т): рения — 1,43 и 2,4, селена — 40 и 520, молибдена — 20 и 110, скандия — 8,1 и 14,2, иттрия — 25 и 112, иттербия — 3,8 и 20. В подзонах рядовых и бедных руд отмечены также аномальные концентрации следующих элементов (средние значения соответственно для бедных и рядовых урановых руд, г/т): лантана — 43,3 и 28,7, церия — 98,6 и 214, неодима — 57 и 115,7, лютеция — 0,96 и 0,20.

Зона пластового окисления характеризуется общим крайне низким содержанием $C_{орг}$ (0,01—0,03%) и обедненным спектром элементов. В подзоне полного окисления содержание железа снижается до 0,38%.

В позоне гидроокисного ожелезнения (бедных реликтовых руд) концентрируется селен (тысячные и первые сотые доли процента, максимум до 0,353%).

В подзоне неполного окисления отмечаются относительно повышенные концентрации марганца (0,035—0,048%), ванадия (0,006—0,01%), хрома (0,005—0,01%).

Минералогический состав руд. Рудные пески чаще всего представлены средне- и мелкозернистыми разновидностями с преоб-

ладанием зерен размером 0,5—0,1 мм (70—75% массы породы). Пески существенно кварцевые.

Алевритистый материал составляет в среднем 6—7% массы породы, глинистый — 6,6%. Поровый заполнитель состоит из смеси кварца, полевых шпатов, слюд алевритистой размерности и глинистых минералов, представленных монтмориллонитом, каолинитом и гидрослюдами.

Акцессорные минералы слагают преимущественно тяжелую фракцию (концентрируются в классе 0,25—0,1 мм) и составляют до 0,4—1,0% массы породы. Аутигенные минералы, не превышающие 1% объема породы, в оруденелых песках представлены пиритом, марказитом, гетитом, гидрогетитом, кальцитом, коллофаном, ферроселитом, самородным селеном, единичными зернами минерала типа ильземанита.

Распределение урана по гранулометрическим классам показывает, что глинисто-алевритовая часть песков концентрирует до 50—70% металла.

По минералогическому составу руды преимущественно коффиновые, реже углисто-коффиновые, углисто-сульфидно-коффиновые и крайне редко настуран-коффиновые (за исключением участка Торткудук, где соотношение между коффином и настураном составляет 35,5 и 64,5% соответственно).

Урановая минерализация приурочена преимущественно к межзерновому поровому пространству песков и распределяется в нем достаточно равномерно. Кроме того, она широко проявлена в обугленной растительной органике, где в основном замещает стенки структурной ткани, а также в виде корочек и примазок присутствует на поверхности обломочных зерен, образует вкрапленность и мономинеральные обосложения в сульфидах железа, в лейкоксенизированных зернах ильземанита, часто встречается в виде корочек и пленок вокруг стяжений и гнезд пирита.

На месторождении установлены дисперсные, тонкодисперсные, тонковкрапленные, пятнисто-вкрапленные и редко массивные текстуры руд. Последние образуются при полном заполнении урановой минерализацией межзернового пространства.

Основной минеральной формой урана на месторождении Моинкум является коффинит и в незначительной степени настуран (в общем балансе урановых минералов коффинит составляет 93—100%, настуран — 0,7%). На месторождении Канжуган количество настурана существенно возрастает.

Коффинит по внешнему виду темно-серый и черный сажистый минерал. Морфологически, по данным электронной микроскопии, выделяются два типа: 1) веретеновидные частицы размером 0,1—0,5 мкм, сформировавшиеся путем срастания отдельных индивидов коффинита по длинным осям, или неправильной формы сростки, нарастающие на более крупные кристаллы; 2) относительно крупные (до 3 мкм) колломорфные глобулевидные образования и их розеточные сростки.

Настуран, по данным рентгенофазового анализа, представляет собой минерал с флюоритовым типом структуры. Параметр элементарной ячейки обычно составляет $5,36—5,38 \pm 0,2$ Å. Макроскопически от коффинита не отличается.

Электронно-микроскопические исследования показали, что морфологически настуран в образцах представлен микрокристаллитами размером около 0,001 мкм, микроглобулями размером 0,01—0,1 мкм, глобулями размером 0,1—2 мкм. Кроме минеральных форм в рудах иногда отмечаются соединения урана рентгеноаморфной формы.

Из сопутствующих минералов основными являются ферроселит и самородный селен, встречающиеся главным образом в подзонах разрушения и гидроокисного ожелезнения, на выклинивании зоны пластового окисления.

Пирит и в меньшей степени марказит — постоянные спутники урановых минералов. Это кристаллические образования глобулярной формы, создающие дисперсную вкрапленность в поровом алеврито-глинистом цементе, желваки и стяжения в виде базального цемента песков, псевдоморфно замещающие углефицированные растительные остатки. Выделения пирита и марказита часто образуют или замещаются урановыми минералами. В отдельных пробах высоки концентрации молибдена (до 0,3%), однако его минеральная форма не установлена (предполагается легкорастворимый ильземанит).

Кальцит довольно редок и образует мелкокристаллические агрегаты в базальном цементе песка.

В растительном детрите, местами в тесной ассоциации с коффином, встречается сфалерит. В единичных образцах отмечены барит, галенит, коллофан и апатит.

Качественная и технологическая характеристика урановых руд. Технологические свойства руд изучались применительно к способу ПВ как в лабораторных условиях (по керновым пробам), так и экспериментально (подземное выщелачивание).

По химическому составу урановые руды всех изученных горизонтов относятся к силикатному типу (SiO_2 81—93%). По содержанию урана во всех залежах преобладают бедные и рядовые руды.

Руды однокомпонентные, урановые. Селен, рений, скандий присутствуют в рудах спорадически. Исключение составляют участки Торткудук и южный фланг месторождения Канжуган, где среднее содержание рения в рудах достигает 0,8—1 г/т. Текстуры руд вкрапленные, пятнисто-вкрапленные и массивные. Структура руд дисперсная. В их составе преобладает кварцево-кремнистая составляющая (67—76%), нерастворимая в кислотной среде. Содержание труднорастворимых минералов (полевые шпаты, слюды, глинистые минералы) 23—32%.

По фильтрационным свойствам руды и рудовмещающие породы делятся на два литолого-фильтрационных типа. К первому типу

относятся пески с содержанием глинисто-алевритового цемента не более 30 % (среднее содержание в рудных залежах 12—15 %). Второй тип представлен глинами и алевритами с содержанием суммы глинисто-алевритовых частиц 30—60 %. Величина коэффициента фильтрации (K_f) для рудных залежей, по данным откачек, варьирует от 2,3 до 15 м/сут, причем K_f рудных песков заметно выше, чем безрудных.

Глубина залегания подошвы продуктивных горизонтов 170—400 м в «поднятом» блоке и 230—545 м в «опущенном».

Эффективная мощность горизонтов варьирует в широких пределах — от 3,6 до 60,6 м, в среднем 15—30 м. Глинистые водоупоры горизонтов характеризуются площадной выдержанностью и мощностями от 2 до 28 м. По соотношению m : $M_{эф}$ (m — суммарная мощность рудных интервалов в пересечении; $M_{эф}$ — мощность проницаемых пород рудовмещающего горизонта между глинистыми водоупорами, подлежащая закислению в процессе ПВ) на месторождениях преобладают рудные блоки с весьма благоприятными ($>0,2$) и благоприятными (0,1—0,2) условиями отработки.

Содержания «вредных» по способу ПВ примесей ($C_{орг}$, пятиоксид фосфора, сера и CO_2) не превышают сотых и первых десятых долей процента. Отношение двухвалентного железа к трехвалентному составляет 0,5—1,3 при содержании валового 0,4—2,7 %.

Лабораторные технологические испытания руд показали, что оптимальные результаты по извлечению урана (77—97 %) получаются при сернокислотном выщелачивании с концентрацией серной кислоты от 10 до 20 г/л. При этом извлечение 80 % урана достигается при расходе реагента от 1,2 до 8,4 кг на 1 т рудной массы. Удельный расход серной кислоты при разных режимах работы составляет от 3 до 178 кг/кг извлеченного урана. Извлечение урана карбонатными растворами 30—50 %.

При лабораторном кислотном выщелачивании установлен частичный переход в раствор никеля, кобальта, ванадия, хрома, молибдена, меди, олова, цинка, присутствующих в рудах в фоновых и надфоновых концентрациях. Аналогичная картина наблюдается с окислами алюминия, железа, кальция, магния, калия и натрия.

Экспериментальное подземное выщелачивание, проведенное на месторождениях Канжуган и Моинкум, подтвердило наличие благоприятных природных факторов и хорошие технологические свойства руд применительно к кислотной схеме извлечения урана скважинным способом ПВ. Извлечение урана по растворам на месторождении Моинкум достигло 95,4 %, в контуре полигона по результатам контрольного бурения — 64—77 %, а на отдельных участках — до 100 %. При этом расход кислоты на единицу горнорудной массы с учетом растекания не превысил 9,4 кг/т, удельный расход — 45,7 кг/кг урана. В процессе опыта средняя концентрация урана в продуктивных растворах составила 135 мг/л, максимальная — 302 мг/л.

Хорошие технологические показатели, полученные на опытном полигоне, в последующем подтвердились при промышленной отработке месторождения Канжуган.

В процессе экспериментального подземного выщелачивания установлен переход в промышленные растворы ряда элементов, содержащихся в рудах и вмещающих породах в фоновых и надфоновых концентрациях. Наибольший интерес вызывает рений,путное извлечение которого освоено промышленностью. Максимальная концентрация рения (0,26 мг/л) в промышленных растворах отмечена при pH от 6 до 2 ($E_h = +360$ мВ). В дальнейшем его содержание сохранилось на уровне 0,1 мг/л. По мере снижения pH от 2 до 1,13 ($E_h = +352$ — $+418$ мВ) происходит максимальное накопление в промышленных растворах скандия, ванадия, олова, галлия, цинка, никеля, кобальта, церия, иттрия, иттербия, индия. При pH, близком к 1, в растворах появляются бериллий и лантан. Из названных элементов помимо рения практический интерес в настоящее время представляет скандий, максимальная концентрация которого (0,4 мг/л) зафиксирована при pH раствора около 1,5.

О генезисе месторождений Канжуган и Моинкум * Со времени выявления урановых месторождений в песчаных отложениях платформенного чехла вопросы их генезиса всегда были предметом дискуссий. Несмотря на широкое изучение на протяжении последних 40 лет этого важнейшего типа промышленных месторождений, в механизме рудообразования остается много неясностей и в первую очередь это касается источника металла. Поскольку с ним связаны многие практические следствия, коротко остановимся на этом вопросе.

Как известно, в отношении источника урана в настоящее время существуют три основные гипотезы: 1) уран поступает из разрушающихся пород домезозойского обрамления впадин, 2) извлекается из пород самих продуктивных горизонтов и 3) привносится растворами глубинного происхождения.

Рассмотрим третью гипотезу, связанную с глубинным источником, так как она, по мнению автора раздела, дает ответы на многие вопросы и объясняет спорные факты, накопившиеся за 20 лет изучения месторождений Канжуган и Моинкум.

Основным доводом противников этой гипотезы является тот факт, что уран мигрирует преимущественно в шестивалентной форме в кислородных средах. Однако Б. Л. Рыбалов и И. В. Мельников [44] указывают на возможность переноса урана в четырехвалентной форме в галоидных растворах, что подтверждает незаслуженно забытые подобные же выводы В. И. Вернадского и А. Г. Бетехтина. О возможности переноса урана щелочными ра-

* В данном разделе автор излагает собственные взгляды, принципиально отличающиеся от принятой большинством исследователей (в частности, в настоящей работе) концепции уранового рудообразования в результате развития рудогенерирующих региональных ЗПО. — Ред.

створами, богатыми CO_2 , в восстановительной обстановке высказывались ранее Г. Б. Наумов и Р. П. Рафальский [43]. Значит, если перенос урана может быть в любой среде, то возникает вероятность трактовки накопленной фактуры и с позиции гидротермального генезиса.

Для Канжуган-Моинкумского рудного поля, расположенного в условиях активизированной неогеново-четвертичной суборогенной зоны, решение этой проблемы имеет особое значение, так как накоплено большое количество фактического материала, объяснить который с общепринятых позиций, по мнению автора раздела, зачастую весьма трудно. Приведем некоторые из ранее отмеченных фактов, указывающих на возможность глубинного происхождения ураноносных растворов:

а) На рудном поле выявлен целый ряд залежей, «оторванных» от основного фронта ЗПО. К ним, в частности, относятся залежь рудопроявления Песчаного, связанная с останцом сероцветов в региональной ЗПО и расположенная на пересечении двух разломов (Моинкумский и Песчаный), рудные залежи 10к, 13к, 16к, находящиеся в поле сероцветов (впереди регионального фронта ЗПО) вблизи Сузакской зоны разломов. Для этих залежей характерен широкий ореол рассеяния урана и по горизонтали, и по вертикали. Так, над рудопроявлением Песчаное радиоактивные аномалии фиксируются в перекрывающей толще глин на расстоянии до сотен метров.

б) Наличие на основном фронте ЗПО рудных узлов с многоярусным оруденением (расслоенных «столбов»), где «раздувы» рудных тел по мощности (до десятков метров), как правило, сопровождаются расширением залежи по латерали (до 1 км и более). Приуроченность оруденения в рудных «столбах» к разным стратиграфическим горизонтам с различными литолого-фациальными, геохимическими и фильтрационными особенностями свидетельствует о возможности рудоконтроля вертикальными структурами. Этим же можно объяснить часто наблюдаемый афациальный характер рудных тел по отношению к простиранию и падению рудомещающих пород.

в) Наблюдаемые в рудной зоне карбонатизация, каолинизация, гематитизация, сульфидизация, мусковитизация и другие изменения, наложенные на продуктивные пески и имеющие локальный характер (выклинивающиеся вверх прожилки кальцита, гематита, пирита). При этом вместе с закономерным увеличением интенсивности наложенных изменений вниз по разрезу возрастает роль отдельных эпигенетических минералов в окисленных песках вблизи геохимической границы. Так, например, среднее содержание слюды в трех продуктивных горизонтах палеогена — иканском, уюкском, канжуган-уванасском — составляет (сверху вниз) 6,0, 9,3 и 13,6%.

г) Нередко встречающиеся ураганно высокие содержания ура-

на и ряда других элементов на отдельных участках рудных залежей, расположенных в зонах разломов и поднятий палеозойского фундамента: содержание урана в отдельных интервалах достигает 10—15% (в зоне Сузакского разлома) и даже 23% (в зоне Байкадамского разлома на участке Торткудук). Такие интервалы представлены, как правило, тектонической (по мнению автора раздела) глинистой брекчией с песчаным заполнителем, в котором наряду с сульфидами железа, цинка, меди визуальное наблюдается настуран. В рудных залежах вблизи Сузакского разлома в продуктивных песках отмечаются аномальные концентрации: до 1% и более — молибдена, цинка, свинца, а также мышьяка (до 0,3%), германия (более 0,1%), меди, кобальта, никеля, фосфора, марганца, ванадия, циркония и других элементов.

Таким образом, в Канжуганском рудном районе представлен спектр наложенных изменений, которые характерны для гидротермальных месторождений в палеозойских породах. Особенности данного района являются слабая контрастность этих изменений и более широкий размах их распространения, что можно объяснить лучшей проницаемостью среды. Отсюда может быть сделан вывод о возможном поступлении рудообразующих растворов в продуктивные горизонты платформенного чехла из очагов, расположенных в подстилающих докембрийских толщах.

Сырдарьинская урановорудная провинция

Сырдарьинская урановорудная провинция, как и Чу-Сарыуская, является составной частью Восточно-Туранской мегапровинции. Она занимает территорию сложно построенной Сырдарьинской депрессии и отделяется на северо-востоке Каратауским горст-антиклинорием от Чу-Сарыуской провинции, а на юге Чаткало-Кураминским поднятием — от Северо-Ферганского рудного района, находящегося в Узбекистане и Кыргызстане (см. рис. 2). При описании геологических особенностей и рудоносности Сырдарьинской провинции использованы материалы К. Г. Бровина, И. В. Венатова, Р. И. Гольдштейна, Т. Я. Деминой, В. А. Загоскина, В. В. Казаринова, Б. И. Натальченко, Г. В. Перевозчикова, П. И. Пинхасова, С. Д. Расуловой, Г. В. Тараборина, Е. М. Шмаривича [48].

Основные особенности геологического строения, гидрогеологии и ураноносности провинции

Сырдарьинская депрессия ограничивается горными хребтами Большой Каратау, Каржантау, Угамским, Пскемским, Чаткальским и Кураминским на северо-востоке и юго-востоке, хр. Нуратау

на юге, возвышенностями Центральных Кызылкумов на западе и Джусалинским поднятием на севере. Она выполнена в основном отложениями мела, палеогена и неогена мощностью 2,5—3 км. Одноименная урановорудная провинция занимает восточную и юго-восточную части депрессии. Естественной «осью» ее территории является р. Сырдарья.

Домезозойские образования. В региональном плане домезозойская структура земной коры в Сырдарьинской депрессии определяется расположением последней в краевой области неустойчивой консолидации, примыкающей к Кокшетау-Северо-Тянь-Шаньской каледонской системе.

Образования гранитно-метаморфического слоя распространены преимущественно в обрамлении депрессии — в хр. Большой Каратау, Чаткало-Кураминском поднятии, а также в западной части депрессии, за пределами Сырдарьинской УРП. На территории провинции выходы под мезозойско-кайнозойский чехол нерасчлененных высокометаморфизованных пород, прорванных кислыми интрузиями, отмечаются в северной части Чулинского поднятия.

Структурно-формационные комплексы ГМС, развитые в Каратау, описаны в разделе о геологическом строении Чу-Сарысуйской депрессии. Подчеркнем, что часть площади хр. Большой Каратау занята выходами углеродистых «черных сланцев» с уровнем породных концентраций урана до $n \cdot 10^{-3} \%$, а также аномально высокими значениями V, Mo, As, Ag, Au, Se и других элементов. На Чаткало-Кураминском горном поднятии широко распространены (около 96% площади) кислые интрузивные и дацит-андезитовые покровы и экструзии с содержанием урана в породах (2,5—3,5) $\cdot 10^{-4} \%$.

Урановорудные формации в образованиях ГМС представлены урановыми концентрациями в зонах трещиноватости пород углеродисто-кремнистой формации (рудопоявления Баласаускандык, Курумсаг, Аксумбе, Талды, Ран и др.) и гидротермальными месторождениями Чаткало-Кураминских гор (Каттасай, Чаули, Ала-таньга и др.).

Средне-позднепалеозойские осадочные образования литифицированной части осадочного слоя подстилают мезозойско-кайнозойские отложения практически по всей территории рудной провинции и слагают значительные площади в хребтах Большой и Малый Каратау. В отличие от Чу-Сарысуйской депрессии, где в их составе широко развиты гипсоносно-соленосные формации, в Сырдарьинской впадине и в ее обрамлении доминируют карбонатные и терригенно-карбонатные комплексы.

Единой точки зрения на тектоническое строение домезозойского основания Сырдарьинской депрессии не существует. По данным геофизических исследований глубинного строения, слабодислоцированные субплатформенные осадочные отложения средне-

позднепалеозойских наложенных впадин залегают в основном на высокометаморфизованных протерозойских толщах либо на консолидированных образованиях межгорных и предгорных впадин инверсионного (S—D) этапа [12].

Гидрогеологические особенности домезозойского субстрата внутренних частей Сырдарьинской депрессии, по данным Р. И. Гольдштейна, выражаются в существовании определенной гидрогеохимической зональности, проявленной от периферии к осевым частям впадины.

В 30—40 км от подножия хр. Большой Каратау в самоизливающихся (до 50 км над устьем скважины) водах из известняков нижнего карбона минерализация составляет 2,2—4 г/л. Состав вод сульфатно-хлоридный натриевый; содержится сероводород — 1,5 мг/л; концентрация урана не более $n \cdot 10^{-7}$ г/л.

В погруженных частях впадины, на глубине 800—1800 м, воды из известняков D_3 — C_1 имеют хлоридный натриевый состав и общую минерализацию от 4 до 16 г/л; им свойственны повышенная температура (40—54 °C), присутствие сероводорода и низкое содержание урана — $n \cdot 10^{-7}$ г/л.

В **геохимическом плане** средне-позднепалеозойские отложения наложенных впадин образуют Каратау-Аксуатскую область, в которой терригенно-карбонатная формация D_3 — C_1 характеризуется повышенными относительно кларка содержаниями свинца и цинка и вмещает крупные стратиформные полиметаллические месторождения. Кларк урана здесь низкий (1,4—2,3 г/т), урановорудных концентраций практически не содержится.

Мезозойско-кайнозойские образования. Стратиграфия. Мезозойско-кайнозойские отложения включают все три структурно-формационных комплекса: раннеальпийский (T—J), среднеальпийский (K—Pg) и позднеальпийский (Pg_3 —Q).

В отличие от Чу-Сарысуйской депрессии в Сырдарьинской более широко распространены образования активизационного раннеальпийского СФК, представленные юрскими отложениями. Наиболее полно они изучены в депрессионных структурах, развитых на периферии: в Леонтьевском грабене и в Ленгер-Угамском районе.

В Леонтьевском грабене отложения юры представлены всеми тремя отделами и по своему литологическому составу и условиям образования относятся к сероцветным молассоидным терригенным образованиям (J₁₋₂) и терригенно-карбонатным формациям (J₃). Общая мощность 1400—1700 м. В депрессионных структурах Ленгер-Угамского района терригенно-карбонатная формация отсутствует. В Ленгерской структуре верхняя часть отложений подвергнута глубокому эпигенетическому грунтового окисления, выраженному разнообразными пестроцветными породами. С нижней границей зоны окисления связано Ленгерское рудопроявление

урана, приуроченное к верхней размытой части буроугольных пластов.

Широкое поле юрских образований, выделяемое по данным редких нефтепоисковых скважин в центральной части Сырдарьинской впадины, выполнено аллювиально-озерными песчано-глинистыми сероцветными отложениями.

Среднеальпийский мел-палеогеновый платформенный СФК. Наибольшее место в этом комплексе принадлежит меловым отложениям, выполненным в отличие от Чу-Сарыуской депрессии обоими разделами.

К началу раннего мела рассматриваемый район был приподнятой выровненной страной. В самом начале неокома произошло погружение осевых частей будущей депрессии с накоплением в них красноцветных гравелитов и песчаников, сменяющихся выше пестроцветными алевролитами, глинами и мергелями (азабашская и верхняя кокпендинская свиты). Возможно, к неокому должны быть отнесены и пестроцветные грубообломочные образования, выполняющие узкие грабены, установленные среди домезозойских толщ в Карамурунском рудном поле. В целом образования неокома накопились в условиях достаточно выраженной тектонической активизации и аридизации климата.

Отложения апта и альба образуют самостоятельный комплекс, в котором в предгорьях хр. Большой Каратау значительное место принадлежит грубообломочным пестроцветным веерно-руслowym и равнинно-руслowym желтовато-розовым, красноватым и серым образованиям. Далее, в сторону осевых частей впадины, возрастает роль сероцветных глинисто-песчаных образований. В районе поднятия Карактау в основании толщи выделяется в качестве одной-именной свиты терригенно-карбонатная пачка, в составе которой преобладают серые мергели и известняки с прослоями глин, алевролитов, песчаников.

Отложения апта и альба распространены шире, чем неомские. Накопление их происходило в условиях платформенного режима и заметной гумидизации климата.

Верхнемеловые образования начинаются с акдачинской (О. А. Федоренко, 1975) свиты сеномана, представленной в юго-западном обрамлении хр. Большой Каратау ритмично построенной толщей, в основании которой залегают красноцветные веерно-обломочные конгломераты и разнозернистые песчаники, а верхняя часть сложена пестроцветными алеврито-глинистыми образованиями (см. рис. 28).

Туронские отложения подразделяются на нижний и верхний подъярусы.

Особенность раннетуронского этапа развития района состоит в новом расширении области осадконакопления и проявлении обширной морской трансгрессии. Раннетуронские отложения замы-

кают седиментационно-эрозионный мегацикл, включающий помимо них весь комплекс отложений нижнего мела и сеномана.

В юго-западных предгорьях хр. Каратау отложения нижнего турона, известные как кызылатинская, или джалсугумская [3], свита, представлены преимущественно образованиями прибрежно-и мелководно-морских фаций. По данным Г. В. Тараборина и Т. Я. Деминой [48], нижняя часть горизонта мощностью до 10 м сложена сероцветными алеврито-песчаными глинами и алевропелитами, содержащими углистый детрит, остатки раковин моллюсков, желваки фосфоритов. В средней части (5—8 м) преобладают мелко- и тонкозернистые пески с прослоями устричников. Остальная часть толщи мощностью до 40 м представлена зеленовато-серыми алевропелитами и глинами с прослоями мергелей и известковистых песчаников. На Яныкурганском участке развиты прибрежно-морские светло-серые пески, переходящие в пачку желто-белесых разнозернистых русловых песков, пойменных серых алевропелитов и межпойменных пестроцветных глин и алевропелитов мощностью до 35 м.

В погруженных частях Сырдарьинской депрессии мощность морских отложений резко возрастает, в частности в Арысской впадине до 180 м. Данная толща сопоставляется нами с мынкудукским горизонтом Чу-Сарыуской депрессии.

Отложения верхнего турона выделяются условно по своему положению над фаунистически охарактеризованными нижнетуронскими образованиями. В юго-западном обрамлении хр. Большой Каратау это преимущественно красноцветные озерные глины и алевролиты с прослоями песчаников. В Приташкентских Чулях преобладают красноцветные конгломераты, песчаники, алевролиты. Эти образования, по нашему мнению, коррелируются с нижним циклом инкудукского надгоризонта.

Сенонские образования расчленены на основании биостратиграфических построений на коньякский, сантонский, кампанский и маастрихтский ярусы.

К коньяку в провинции отнесена наиболее грубозернистая часть сенонского разреза, представленная гравийно-галечными отложениями, которые в сочетании с пестроцветным разнозернистыми гравийными песками и прослоями буровато-малиновых и буровато-красных алевропелитов слагают несколько трансгрессивных ритмов. Мощность данной пачки 20—50 м.

В районе северо-западного погружения Каратауского горст-антиклинория коньяком датируется толща, сложенная галечно-гравийными образованиями, выше сменяющимися косослоистыми, в основном сероцветными песками с прослоями алевритов, песчаных алевропелитов с углистым детритом. Мощность толщи 80—100 м. В районе Чулинского поднятия эта часть разреза относится к нижней части нижнедарбазинской свиты [3], для которой характерны многочисленные остатки костей черепов и динозав-

ров, кремневых древесных стволов. Рассматриваемая пачка может быть также сопоставлена со средним циклом инкудукского горизонта в Чу-Сарысуйской депрессии.

Грубозернистый, существенно галечно-гравийный состав отложений свидетельствует об усилившейся в коньякское время активизации восходящих тектонических движений, которые в обрамлении Сырдарьинской депрессии, по-видимому, достигали суборогенового уровня.

Отложения сантона в обрамлении Каратауского горст-антиклинория по литологическому составу отличаются от описанных выше незначительно: среди них также преобладают красноцветно-пестроцветные гравийно-песчаные осадки, которые в районе северо-западного погружения антиклинория сменяются циклично построенной пачкой алевроито-глинистых пород. В Приташкентских Чулях к ним относятся отложения верхней части нижнедарбазинской свиты и нижней части котурбулакской свиты, по В. Н. Разумовой, а в Чу-Сарысуйской депрессии — верхняя часть инкудукского надгоризонта. В Сырдарьинской депрессии мощность сантонской пачки 20—60 м.

Кампан и маастрихт вблизи хр. Большой Каратау представлены гравийно-алеврито-песчаными пестроцветными образованиями пролювиально-аллювиальных потоков (верхняя часть котурбулакской свиты, верхнедарбазинская свита, жалпакский надгоризонт в Чу-Сарысуйской депрессии). Мощность отложений 20—80 м.

В обрамлении Карамурунского выступа рассматриваемые отложения разделяются на две пачки: нижнюю, песчаную (кампан), и верхнюю, алевропелито-песчаную (маастрихт). Обе пачки представлены существенно сероцветными отложениями. По данным Т. Я. Деминой и Г. В. Тараборина, они относятся к образованиям подводно-дельтовых фаций.

В Карактауском районе в верхней части разреза развиты органические известняки с фауной маастрихтских рудистов.

Таким образом, в кампане и маастрихте в центральной и южной частях Сырдарьинской впадины господствовали условия мелководного морского бассейна.

В дате — палеоцене море отступило, преимущественно в озерно-лагунных обстановках накопилась пачка двучленного строения: в нижней ее части развиты мергели, карбонатные глины и алевропелиты, в верхней — белые ангидриты, гипсы, доломиты темиргинской свиты. Общая мощность 20—40 м.

Верхний палеоцен представлен маломощной (2—12 м) пачкой доломитов, органических и органично-детритусовых известняков капланбекской свиты (в Чу-Сарысуйской депрессии уванаский горизонт, чулак-курганская свита).

Уюкский горизонт раннего эоцена (кайнарбулакская свита) в южной части обрамления хр. Большой Каратау имеет двучленное

строение. Нижняя пачка (мощностью 20—35 м) сложена темно-серыми песками с прослоями алевропелитов, линзами глинистых песчаников с раковинным и растительным детритом, зубами акул. В верхней части мощностью 20—40 м преобладают сероцветные алевролиты и глины с прослоями красно-коричневых глин, серых песчаников и доломитов.

Средний эоцен (иканский горизонт, муюнкумская, яныкурганская свита) представлен мелко- и среднезернистыми песками, сменяющимися выше карбонатными отложениями: мергелями, доломитами, карбонатными глинами. К западу из разреза исчезают песчаные отложения, наряду с карбонатными породами появляются опоковидные глины. Еще дальше на запад в разрезе доминируют мергели и мергелистые глины. Мощность горизонта от 10 до 30—50 м.

Господство морских условий, субтропический увлажненный (в раннем эоцене) и засушливый (в среднем эоцене) климат в существенной мере определяли палеогеографические условия накопления уюкского и иканского горизонтов.

В верхнем эоцене в Сырдарьинской депрессии накопилась байгакумская толща преимущественно слоистых зеленовато-серых алевролитистых монтмориллонитовых глин мощностью до 300 м и более (в Арысской впадине). Данная толща соответствует нитымакскому горизонту в Чу-Сарысуйской депрессии. В верхнем эоцене морская трансгрессия достигла своего апогея. В это время море распространилось и на площадь хр. Большой Каратау. Климат оставался субтропическим.

Позднеальпийский — неотектонический СФК в основании сложен развитой на левобережье р. Сырдарьи маломощной пачкой, представленной песчаными и гравийными ракушечниками, переслаивающимися с серо- и красноцветными глинами и алевропелитами (верхний олигоцен — нижний миоцен?).

Вся вышележащая толща карбонатных буро- и кирпично-красных песчаных глин и алевролитов с гравием и галькой, с маломощными прослоями песчаников и гравелитов относится к среднему миоцену, что далеко не бесспорно. Мощность ее 50—600 м.

Плиоценовые образования (N_2^{2-3}), несогласно перекрывающие толщи миоцена, представлены высокоизвестковистыми, плохо отсортированными песками, суглинистыми породами с преимущественно бледными палевыми и бурыми гравийными прослоями. Эти отложения могут быть сопоставлены с илийской свитой восточных впадин Казахстана.

Четвертичные отложения (проявлены все звенья) характеризуются значительным разнообразием генезиса, литологического состава, форм залегания и мощности: палевые известняки, известковистые конгломераты, валунно-галечные образования конусов выноса, мощная (100—150 м) пачка русловых песков, супесей и

алевролитов р. Сырдарьи, пески эоловых массивов, такырные осадки.

Особенности тектонической структуры мезозойско-кайнозойского чехла. Сырдарьинская впадина представляет собой сложно построенную мезозойско-кайнозойскую депрессионную структуру общего северо-западного простирания, формирование которой было предопределено еще в среднем — позднем палеозое и происходило в мезозойскую и кайнозойскую эпохи. Ограниченная с северо-востока, юго-востока и юго-запада позднеорогенными поднятиями, она осложнена системой внутренних впадин и прогибов (Урмекумской, Жаугаш-Бердинской, Арысской, Байракумской), разделяющих их поднятий (Карактауского, Чулинского, Балтакольского и др.). Максимальные погружения домезозойского основания (до 2000 м и более) имеют место в Байракумском и Приташкентском прогибах и Арысской впадине.

Основные структуры депрессии конседиментационно развивались в платформенный этап при определенной роли северо-восточных и северо-западных линейных нарушений, причем развитие юго-восточной части депрессии происходило в суборогенном режиме.

В неотектонический этап развития, по существу, вся территория Сырдарьинской урановорудной провинции оказалась расположенной в суборогенной зоне, что подчеркивается резким возрастанием мощности позднеальпийских орогенных формаций. Движения, особенно в юго-восточной части депрессии, приобрели дифференцированный характер.

Среди **геохимических особенностей** мезозойско-кайнозойских отложений могут быть отмечены следующие.

Рудовмещающие меловые водонепроницаемые отложения, как и в Чу-Сарысуйской провинции, характеризуются, по данным Б. И. Натальченко (Краснохолмское ПГО), повышенными (относительно значений Таркяна и Ведеполя) региональными кларками целого ряда элементов. По сравнению с Чу-Сарысуйской депрессией (см. табл. 1) в меловых песках Сырдарьинской провинции почти в 3 раза выше средние содержания кобальта (кларк концентрации 121,0 против 42,3), более чем в 2,3 раза выше содержания ванадия (6,2 против 2,6), но при этом существенно ниже региональные кларки никеля (кларк концентрации 6,6 против 21,0), меди (соответственно 3,1 и 9,8), марганца (5,2 и 134,0). По данным В. П. Купченко, отдельным фациальным типам авандельтовых и рустовых верхнемеловых отложений свойственны довольно высокие надкларковые содержания урана — 4,2—4,7 г/т.

Основные гидрогеологические и гидрогеохимические особенности мезозойско-кайнозойских СФК. Сырдарьинская рудная провинция расположена в пределах Среднесырдарьинского равнинного артезианского бассейна, помимо которого в южной части депрессии расположен Приташкентский предгорный бассейн («Гидрогеология СССР». М., 1976. Вып. 1).

В мезозойско-кайнозойском чехле выделяются три гидрогеологических этажа: нижний — юрский, средний — мел-палеогеновый и верхний — неогеново-четвертичный.

Поровые и порово-трещинные воды юрского этажа, как и сами водовмещающие отложения, распространены спорадически. Они изучены главным образом в депрессиях периферической зоны, где характеризуются гидрокарбонатным кальциевым составом, низкими общей минерализацией (до 0,5 г/л) и содержаниями урана — от $n \cdot 10^{-7}$ до $(3-5) \cdot 10^{-6}$ г/л, малой водообильностью.

Средний, мел-палеогеновый этаж разделяется водоупорными толщами на неоком-апт-альбский, сеноманский, верхнетуронско-сенонский, эоценовый водоносные комплексы. В областях питания комплексы и входящие в их состав водоносные горизонты они взаимосвязаны. В собственно урановорудной провинции они залегают на значительных глубинах и изучены единичными скважинами.

Вблизи ст. Арысь и на Тимурской структуре воды неоком-апт-альбского комплекса имеют низкий дебит (0,55 л/с), хлоридный кальциево-магниевый состав и минерализацию от 8,6 до 20 г/л. В сеноманском комплексе Приташкентских Чулей и Арысской впадины они сульфатно-хлоридные натриево-кальциевые, гораздо менее минерализованные (до 1,4 г/л), кислородсодержащие (4,5—6,0 мг/л), с концентрацией урана от $6,5 \cdot 10^{-6}$ до $1,3 \cdot 10^{-5}$ г/л.

Рудовмещающий верхнетуронско-сенонский водоносный комплекс изучен более основательно. Здесь производительность артезианских скважин высока (5—24 л/с), статические уровни устанавливаются на 15—40 м выше поверхности земли.

Генеральное направление перемещения вод в Среднесырдарьинском бассейне северо-западное, к региональной области разгрузки — Аральскому морю. Оно осложняется локальными очагами разгрузки (Карактауское поднятие, Карамурунский выступ). В Приташкентском бассейне направление потока вод преимущественно юго-западное (см. рис. 6).

Существуют две точки зрения на характер гидродинамики Сырдарьинского бассейна. По мнению Г. М. Шора, для бассейна характерны широкое распространение инфильтрогенных вод и высокая степень промытости водоносных горизонтов [8]. Р. И. Гольдштейн [48], основываясь на повышенной (до 7 г/л) минерализации вод в центральных частях Приташкентского бассейна, полагает, что инфильтрационный режим развит ограниченно и значительное количество вод имеет седиментогенную природу. По нашему мнению, более справедлива первая точка зрения, о чем свидетельствует прежде всего широчайшее распространение в горизонтах данного комплекса пластового окисления явно инфильтрационного происхождения.

Гидрогеохимические и радиогидрогеохимические особенности вод характеризуются региональной зональностью, соответствующей

щей условиям их питания и гидродинамики (см. рис. 6).

Пресные воды с минерализацией 0,5—1,0 г/л развиты в широкой зоне, распространенной в клине между хр. Большой Каратау и Чулинским поднятием и простирающейся на левобережье р. Сырдарьи. По данным Р. И. Гольдштейна, состав вод гидрокарбонатный натриевый к северо-северо-востоку от него, температура на глубине 450—500 м достигает 30—40 °С. На остальной части Сырдарьинского бассейна в основном распространены слабосоленоватые сульфатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией 1—3 г/л. Газовый состав вод комплекса кислородно-азотный и азотный.

Окислительная обстановка развита в водах Арысского прогиба и прилегающих площадей до глубины 1500 м, на северо-северо-запад зона распространения таких вод сужается, содержание кислорода в воде и их окислительно-восстановительный потенциал снижаются соответственно от 3—4 до сотых долей миллиграмма на литр и от (+250) — (+380) до (+150) — (+200) мВ. На остальной площади артезианского бассейна распространены бескислородные, глеевые среды с преобладанием азота и низкой концентрацией сероводорода. Их окислительно-восстановительный потенциал изменяется от (+20) — (+40) мВ (при наличии сероводорода) до (+100) — (+130) мВ (в глеевых средах).

Содержание урана в водах в целом подчиняется гидрохимической зональности. В кислородных водах юго-восточной части артезианского бассейна оно составляет $(3-10) \cdot 10^{-6}$ г/л. В бескислородных водах глеевой обстановки концентрация урана еще ниже — $n \cdot 10^{-7}$ г/л.

Эоценовый водоносный комплекс распространен лишь в юго-восточной части Сырдарьинского бассейна, где в его составе развиты водоносные пески. Уровень вод, вскрытых скважинами на глубинах 40—480 м, устанавливается на отметках от —20 до +15 м от поверхности земли. Пресные воды по направлению движения от областей питания (палеозойские породы) сменяются соленоватыми, кислородные — сероводородными. Фоновые содержания урана снижаются при этом от $(3-10) \cdot 10^{-6}$ до $n \cdot 10^{-7}$ г/л.

Верхний, неоген-четвертичный, гидрогеологический этаж характеризуется весьма неоднородной (от десятков метров до 1000—1500 м) мощностью водовмещающей толщи, различной глубиной залегания грунтовых вод, незначительной водообильностью и генеральным направлением потоков — на запад-северо-запад, к Аральскому морю. Воды этого этажа в обрамлении хр. Большой Каратау в основном гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриевые (пресные разновидности) с низким фоновым содержанием урана — $n \cdot 10^{-7}$ — $n \cdot 10^{-6}$ г/л. При этом изменчивость химического состава и минерализации вод не связана заметно с их направлением движения, что может свидетельствовать о вялом гидродинамическом режиме в верхнем гидрогеологическом этаже.

Рудоконтролирующие эпигенетические изменения. Урановое оруденение Сырдарьинской УРП контролируется системами региональных фронтов ЗПО, развитых в водоносных горизонтах верхнего мела и эоцена. Как уже отмечалось, они представляют собой южное продолжение фронтов окисления, проявленного в соответствующих горизонтах Чу-Сарысуйской провинции. В отличие от последней, где рудоносные фронты по своему расположению отчетливо дисконформные, «секущие» по отношению к тектонической структуре и гидрогеохимической зональности, в Сырдарьинской депрессии они более соответствуют особенностям современного тектонического строения и гидродинамики.

Помимо тектонической структуры артезианского бассейна масштабы распространения и конфигурации границ ЗПО определяют региональными фациально-литологическими особенностями меловых и палеогеновых горизонтов, палеогеографической обстановкой их накопления. Так, широко распространенное в Чу-Сарысуйской депрессии рудоконтролирующее окисление в нижнетуронском мынкудукском горизонте, в Сырдарьинской депрессии развито весьма ограничено, лишь в районе, вплотную примыкающем к выходам палеозойских образований Большого Каратау, в его северо-западной части, т. е. там, где в состав этого горизонта входят русловые и подводно-дельтовые песчаные отложения (на остальной территории распространены морские глинистые образования этого возраста).

Приблизительно такое же положение занимают региональные фронты в ранне- и среднеэоценовых отложениях уюкского и иканского горизонтов, развитые в юго-восточной части депрессии, где они контролируются границей перехода волноприбойных песчаных отложений в карбонатно-глинистые образования открытого моря. Удаленность этих фронтов от выходов палеозойских образований хр. Большой Каратау 40—50 км. Южнее, в районе Чулинского поднятия, окисленные ранне-среднеэоценовые горизонты эродированы и далее на юг прослеживаются узкой полосой вдоль границ Чаткало-Кураминского поднятия, которым они разрываются.

Наиболее широко рудоконтролирующее региональное пластовое окисление развито в отложениях верхнего турона, коньяка, сантона и кампана (инкудукский и жалпакский надгоризонты в Чу-Сарысуйской урановорудной провинции). Представленные в юго-восточной части Сырдарьинской депрессии высокопроницаемыми грубообломочными отложениями континентальной пестрой цветной глинисто-гравийно-песчаной формации эти горизонты явились благоприятной средой для пластовых окислительных процессов. Фронты окисления в отложениях кампана, откартированные в районе поднятия Карактау, удалены от горных сооружений отрогов Тянь-Шаня на 200—250 км. В отложениях же коньяка — сантона, по имеющимся данным, они прослеживаются еще дальше.

К важнейшим особенностям рудоконтролирующих зон пластового окисления в Сырдарьинской депрессии относятся их ярко выраженное в региональном плане зональное строение.

Как и в рудных полях ураноугольных месторождений в триасо-юрских структурах, тыловая часть зон пластового окисления в меловых горизонтах Сырдарьинской провинции красноцветная, что обусловлено развитием гидрогематитовых форм окислов железа. Далее по падению развита зона окисления обычного желтоцветного облика, определяемого развитием гетит-гидрогетитовых форм окисного железа. Ширина ее 10—15 км, возможно, больше. Тыловая граница красноцветной зоны дискуссионна, поскольку развитые в ее тылу красноцветные же гравийно-песчаные образования многими исследователями трактуются как первично-красноцветные. По мнению одного из авторов раздела, по крайней мере, значительная часть последних должна относиться к образованиям пестроцветной глинисто-гравийно-песчаной формации, испытавшим воздействие процессов эпигенетического пластового окисления.

Существуют разные взгляды на происхождение красноцветной зоны пластового окисления. Доминируют представления (разделяемые авторами), по которым красноцветная зона формировалась в ранние этапы развития пластового окисления, а желтоцветная — в поздние. При этом «красные» окислы железа рассматриваются как продукт дегидратации в определенных гидрогеохимических условиях (одно из них — повышенная температура). По мнению Е. М. Шмариовича и др. [53], образование в передовой части ЗПО «желтых» гидрооксидов группы гетита-гидрогетита обусловлено окислением дисульфидов железа, сидерита и углестого детрита, вызывающим подкисление среды, а возникновение в тыловых частях ЗПО оксидов группы гематита — повышением щелочности среды в результате разложения сравнительно трудноокисляемых компонентов — кальциево-магневых алюмосиликатов, магнезальных карбонатов (доломита, анкерита). Повышением щелочности среды и образованием красноцветной зоны окисления Е. М. Шмариович объяснял также некоторые особенности рудообразующих процессов на границах ЗПО, в частности накопление рудных концентраций ванадия.

Металлогеническое районирование Сырдарьинской урановорудной провинции. Система региональных рудоносных фронтов ЗПО, проявленных в верхнемеловых горизонтах в Сырдарьинской депрессии, выделяется как Карамурун-Карактауская металлогеническая урановорудная зона (см. рис. 2). Она является отделенным Каратауским горстом южным продолжением Кенце-Буденновской металлогенической зоны в Чу-Сарысуйской УРП. Следует отметить, что положение регионального фронта в позднеюрско-коньяк-сантонских отложениях до сих пор достоверно не определено.

Протяженность Карамурун-Карактауской зоны в Сырдарьинской провинции не менее 400 км. Вместе с Кенце-Буденновской зоной она образует металлогеническую урановорудную мегазону общей протяженностью до 1000 км. К настоящему времени оруденение в Карамурун-Карактауской зоне установлено главным образом в верхнесенонском (кампанском) комплексе, где оно в отличие от Чу-Сарысуйской провинции многоярусное. Контуры выделяемых в этой зоне Карамурунского и Карактауского рудных районов в достаточной мере условны: они в основном определяются границами изученных бурением рудоносных площадей. В первом районе в кампанских отложениях выявлены месторождения Северный Карамурун (селеноурановое) и Южный Карамурун (урановое), а также урановое месторождение Ирколь с оруденением, локализованным в коньяк-сантонских образованиях. Кроме того, новые, еще недостаточно изученные рудные площади имеются в южной части рудного района.

Карактауский урановорудный район выделен на площади одноименной антиклинальной структуры, где в отложениях кампана выявлены селеноурановые месторождения Заречное и Асарчик и уникальное по составу рудных компонентов уранованадиевое месторождение Жауткан.

Система региональных фронтов окисления, развитого в пронцаемых эоценовых горизонтах, выделяется в виде Кызылколь-При-ташкентской металлогенической зоны, представляющей собой южное продолжение Уванас-Канжуганской урановорудной зоны Чу-Сарысуйской провинции. В северной части Кызылколь-При-ташкентской зоны в эоценовых отложениях размещается группа месторождений (Кызылколь, Лунное, Чаян) и ряд рудопроявлений. К югу от Чулинского поднятия установлены рудопроявления Кынтрак и Келес. Протяженность рассматриваемой зоны около 480 км. Как уже упоминалось, ее продолжение прослеживается в северной прибортовой части Ферганской впадины, где выделяется старейший в стране Северо-Ферганский рудный район, объединяющий группу небольших, в основном уже выработанных месторождений — Майлисай, Шакоптар, Нарын, Майлису.

Месторождения в позднемеловых отложениях (Карамурун-Карактауская металлогеническая зона)

Карамурунский урановорудный район

Карамурунский район, названный по одноименному выступу хр. Большой Каратау, занимает северную оконечность Карамурун-Карактауской металлогенической зоны (см. рис. 27). Его площадь около 8000 км². Район объединяет группу урановых месторождений с оруденением, локализованным в верхнемеловых горизонтах.

Геоморфологически его территория представляет собой наклонную предгорную равнину и долину р. Сырдарья. Район рас-

положен вблизи железнодорожной и автомобильной магистралей, на незначительном удалении от действующих горнорудных (полиметаллических) предприятий.

Рудоносность меловых отложений Карамурунского района впервые была установлена в 1963 г. партией № 27 Волковской экспедиции (С. Г. Гречкин, Н. Н. Петров, Г. Д. Потапов), выявившей реконгосцировочным бурением в его северной части рудопоявление Даут. В качестве перспективной поисковой площади выделялась территория в обрамлении Карамурунского выступа. В дальнейшем (1969—1970 гг.) перспективность этого района, но уже на более широкой площади была обоснована Г. В. Тарабориным и Т. Я. Деминой (Краснохолмская экспедиция).

В 1972 г. партией № 23 Краснохолмской экспедиции южнее Карамурунского выступа было открыто месторождение Северный Карамурун (В. Ф. Волков, В. Л. Шитов). В последующие годы (1976—1979 гг.) последовали открытия месторождений Южный Карамурун (в отложениях кампана — маастрихта), Ирколь (в образованиях верхнего турона — коньяка — сантона) и т. д.

Геологическое строение района. Стратиграфия. Домезозойский субстрат района сложен терригенной толщей среднего девона (тюлькубашская свита), а также известняками и доломитами фамена и нижнего карбона, прорванного интрузиями верхнепалеозойских гранитов. Основная домезозойская структура — Каратауский антиклинорий, на юго-западном крыле которого расположен рудный район. Это крыло осложнено системой северо-западных протяженных тектонических зон.

Осадочный чехол представлен платформенными отложениями мела, палеогена и суборогенными позднеолигоценно-четвертичными осадками.

Низы разреза осадочного чехла на большей части площади сложены гравийно-галечными отложениями сеномана мощностью от нескольких до 50 м (рис. 27). Отложения сеномана без видимого несогласия перекрываются нижнетуронскими красновато-коричневыми глинами и алевролитами, которые на юго-восточном фланге рудного поля замещаются морскими сероцветными горизонтально-слоистыми глинами с остатками раннетуронской фауны.

Отложения верхнего турона представлены пачкой разнозернистых, преимущественно мелкозернистых, зеленовато-серых аллювиальных песков с прослоями темно-серых озерных глин и алевролитов, делювиально-элювиальных зелено- и красноцветных алевролитов и песчаников. В юго-восточной половине рудного района аллювиальные образования верхнего турона фациально замещаются красноцветными, в основном глинистыми делювиально-пролювиальными отложениями. Мощность отложений верхнего турона 40—50 м. В песках верхнего турона сосредоточено порядка 10% запасов урановых руд месторождения Ирколь.

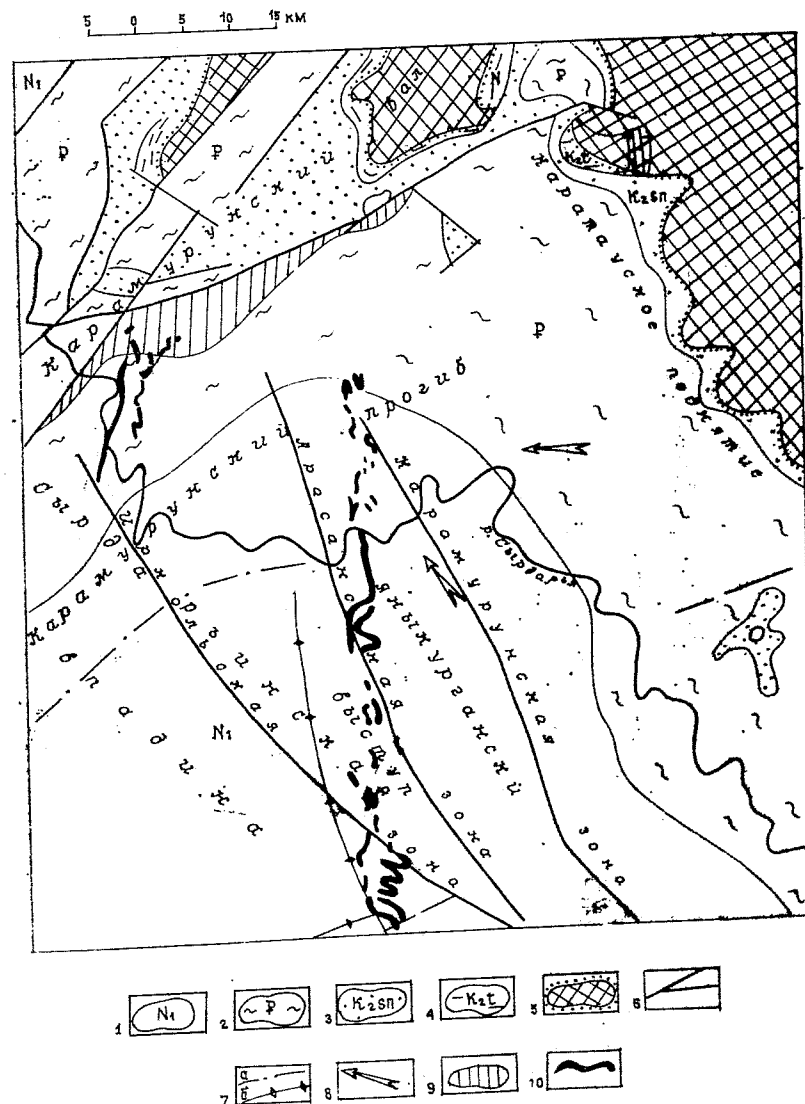


Рис. 27. План рудоносности Карамурунского рудного района (со снятым чехлом верхнеплиоценно-четвертичных отложений) (по В. В. Казаринову): 1 — алевролиты миоцена; 2 — серо-зеленые глины, мергели, ангидриты палеогена; 3 — литы миоцена; 4 — пестроцветные пески сенона; 5 — пестроцветные алевролиты турона; 6 — пестроцветные алевролиты турона; 7 — пестроцветные пески сенона; 8 — направление потока подземных вод; 9 — область транзитной разгрузки пластовых вод; 10 — урановорудные залежи

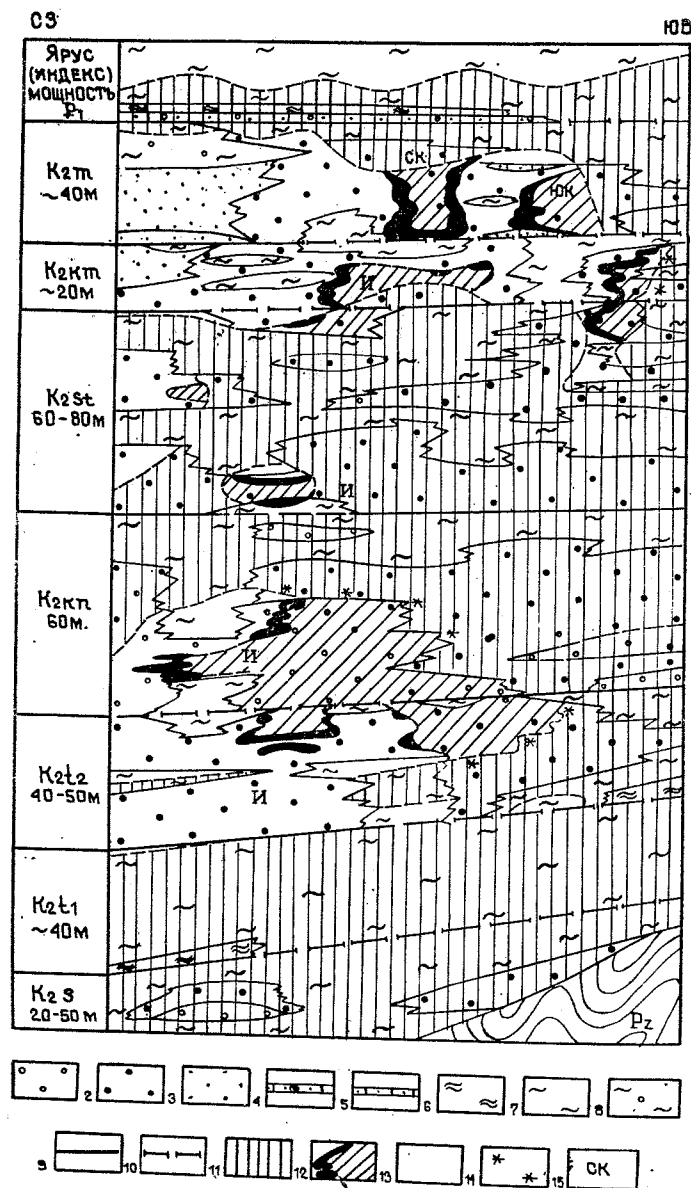


Рис. 28. Разрез верхнемеловых отложений и условия локализации уранового оруденения в Карамурунском рудном районе (по В. Л. Шитову и В. В. Казаринову); 1—8 — типы пород: 1 — галечно-гравийные отложения русел; 2 — мелкозернистые аллювиальные пески; 3 — мелкозернистые морские пески; 4 — прибрежно-морские карбонатные песчаники с битой ракушей; 5 — карбонатные

Значительная часть объема коньякских отложений выполнена чередующимися слоями светло-серых галечно-гравийных пород и мелкозернистых песков, иногда замещающихся темно-серыми горизонтально-слоистыми глинами и алевролитами. В верхних этажах разреза эти породы переходят в мелкозернистые слюистые белесые пески, а еще выше — в разнозернистые буро-желтые и красные пески, песчаники, алевролиты и глины. Общая мощность отложений коньяка около 60 м. В последних сосредоточена основная часть запасов урана на месторождении Ирколь.

Осадки сапона представлены широким площадным развитием красноцветного комплекса русловых, пойменных и луговых накоплений общей мощностью около 80 м. Этот комплекс при явном преобладании глинистых пород в рудном районе наиболее фациально изменчив. На отдельных площадях в его разрезе развиты луговые зеленоцветные и аллювиальные сероцветные осадки, в которых сосредоточена значительная часть запасов урана.

Кампанские отложения включают преимущественно аллювиальные осадки глинисто-песчаных пород мощностью около 20 м. К ним приурочены залежи балансовых руд на месторождениях Ирколь, Северный и Южный Карамурун.

В маастрихте в западной части площади района накапливались прибрежно-морские мелкозернистые сероцветные пески с прослоями, обогащенными раковинным детритом. Однако на большей части рудного поля разрез маастрихтских отложений состоит из аллювиально-дельтаальных осадков. Суммарная мощность маастрихтских отложений 40 м. В их аллювиальных горизонтах локализованы основные рудные залежи месторождений Северный и Южный Карамурун и часть запасов урана на рудопроявлениях Кызылту и Алгабас.

Отложения палеогена представлены доломитистыми песчаниками, доломитами, алевролитами, ангидритами и известняками дата — палеоцена (до 20—45 м), песками и темно-серыми глинами нижнего эоцена (35 м), мергелями и глинами среднего эоцена (50 м), серо-зелеными алевролитами и глинами верхнего эоцена (до 220 м).

Верхнеолигоценно-четвертичный СФК в основании сложен розовыми песками, красно-бурными известковистыми алевропелитами и глинами позднего олигоцена — раннего плиоцена (мощность 220 м), средне-верхнеплиоценовыми отложениями предгорной рав-

песчаники; 6 — дельтаальные неслоистые глинистые песчаники; 7 — дельтаальные, пойменно-озерные глины и алевролиты; 8 — морские глины с отпечатками раковин; 9—10 — границы ярусов и подъярусов; 9 — выраженные четко по обстановке и рудоносности; 10 — проявленные нечетко; 11—15 — геохимическая смена литологических типов, 11 — первично-окисленные и слабовосстановленные породы, 12 — пластово-окисленные породы и сопряженное с ними урановое оруденение, 13 — восстановленные сероцветные породы, 14 — марганцево-железистые охры, 15 — месторождения: И — Ирколь, СК — Северный Карамурун, ЮК — Южный Карамурун

нины (до 100—120 м) и четвертичными образованиями аллювиально-эоловой равнины (до 120 м).

Структурно-тектоническая позиция Карамурунского рудного района определяется его положением в северо-восточном борту Сырдарьинской впадины. Основной структурой является горст-антиклинорий хр. Большой Каратау, взброшенный по Главному Каратаускому разлому более чем на 1 км и полого погружающийся на юго-запад. Наиболее крупными структурами второго порядка являются Карамурунский выступ (вал), Яныкурганская антиклиналь и разделяющий их Карамурунский прогиб. В пространственном положении месторождений отмечается их прямая связь с Карамурунской, Харасанской и Иркольской флексуно-разрывными зонами (рис. 28).

Гидрогеологическая позиция района. Гидрогеологическая позиция района определяется его положением на северо-восточном крыле Сырдарьинского артезианского бассейна, в области транзита пластовых вод и их частичной разгрузки, осуществляемой в Карамурунском валу и Яныкурганской антиклинали. Рудовмещающий меловой водоносный комплекс представляет собой слоистую толщу водоносных пород, разделенную водоупорами на горизонты: верхнетуронско-коньякский, сантонский и кампан-маастрихтский. Движение вод во всех горизонтах происходит на северо-запад со скоростью фильтрации 1—10 м/год.

Верхнетуронско-коньякский водоносный горизонт является основным рудовмещающим горизонтом на месторождении Ирколь. Он сложен мелкозернистыми песками верхнего турона и гравийно-песчаными отложениями коньяка общей мощностью 35—115 м. Горизонт имеет четкие верхний и нижний водоупоры. Воды горизонта высоконапорные. Напоры возрастают с севера на юг от 65 до 880 м. Коэффициенты фильтрации рудовмещающих отложений горизонта варьируют от 2 до 10 м/сут. Химический состав вод сульфатно-гидрокарбонатный натриево-калиевый. Величина общей минерализации 0,6—0,9 г/л. Значения pH вод колеблются в пределах 7,5—7,9. Содержание урана в водах горизонта от $2,9 \cdot 10^{-7}$ до $6,5 \cdot 10^{-5}$ г/л. Сантонский горизонт гидрогеологически изучен слабо. Кампан-маастрихтский горизонт напорных пластовых вод — основной рудовмещающий горизонт на месторождениях Северный и Южный Карамурун, а также на рудопроявлениях Кызылту и Алабас. Верхним водоупором служат глинистые отложения палеогена и неогена. Нижний водоупор представляют глинисто-алевритовые отложения верхней части сантона. Глубина залегания водоносного горизонта увеличивается на юг от 95 до 700 м. Коэффициент фильтрации отложений 10—15 м/сут. По химическому составу воды сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные натриево-калиевые. Величина общей минерализации обычно 0,5—0,8 г/л. Концентрация урана в водах зон пластового окисления и уранового оруденения составляет $2,6 \cdot 10^{-5}$ — $2,4 \cdot 10^{-4}$ г/л. К западу

она уменьшается до $1,4 \cdot 10^{-6}$ г/л. В водах рудной зоны присутствует селен в количестве от $7,5 \cdot 10^{-6}$ до $5,5 \cdot 10^{-5}$ г/л.

Характеристика оруденения. Селеноурановое оруденение на Карамурунском рудном поле локализуется в области выклинивания региональных зон пластового окисления, контролирующих две основные крупные субмеридиональные рудоносные полосы: Карамурунскую в кампан-маастрихтском горизонте и Иркольскую — в коньякском (см. рис. 28).

Первая из них включает основную часть рудных залежей на месторождении Карамурун. В рудовмещающих породах этого месторождения четко выделяются два подгоризонта, каждый из которых представляет законченный ритм осадконакопления, начинающийся с относительно грубообломочного материала и заканчивающийся пачкой алевролитов и глинистых песчаников. Это отразилось на характере развития зоны окисления, образующей в отложениях уступы и заливы и разделяющейся промежуточным водоупором на две самостоятельные подзоны в песках верхнего и нижнего подгоризонта.

Зона окисления, развитая в коньякском горизонте, контролирует основную часть уранового оруденения месторождения Ирколь.

Урановое оруденение, как правило, локализуется в неокисленных породах с достаточно высокими восстановительными свойствами. Селеновые руды обычно смещаются в сторону окисленных пород, и часть их концентрируется непосредственно в зоне пластового окисления.

Рудные залежи на месторождениях имеют длину от 750 до 5500 м при ширине от 25—50 до 300—450 м. В плане они представляют собой протяженные извилистые ленты переменной ширины (рис. 29). В поперечных разрезах ураноселеновые руды в соответствии со ступенчатым строением области выклинивания зоны пластового окисления образуют тела, состоящие из сложно сочетающихся друг с другом роллов, роллоподобных форм, линзовидных и пластовых тел. Содержание урана в рудных телах варьирует в широком диапазоне, обычно же составляет 0,08—0,07% при стабильно высокой мощности (от 6 до 24 м). Глубина залегания подошвы рудных тел изменяется от 300 до 700 м, увеличиваясь с севера на юг рудного поля.

Особенностью региональной рудоконтролирующей окислительной зональности в Карамурунском районе (как и в целом в Сырдарьинской УРП) является распространение в ее тыловой части красноцветной зоны окисления, внутренняя граница которой со стороны первично красноцветных песчаных отложений весьма нечетлива. На наш взгляд, красноцветная ЗПО соответствует раннему олигоцену-мiocеновому этапу ее развития.

Красноцветная зона окисления повсеместно обрамляется желтоцветной, соответствующей позднему (позднеплиоцену-четвер-

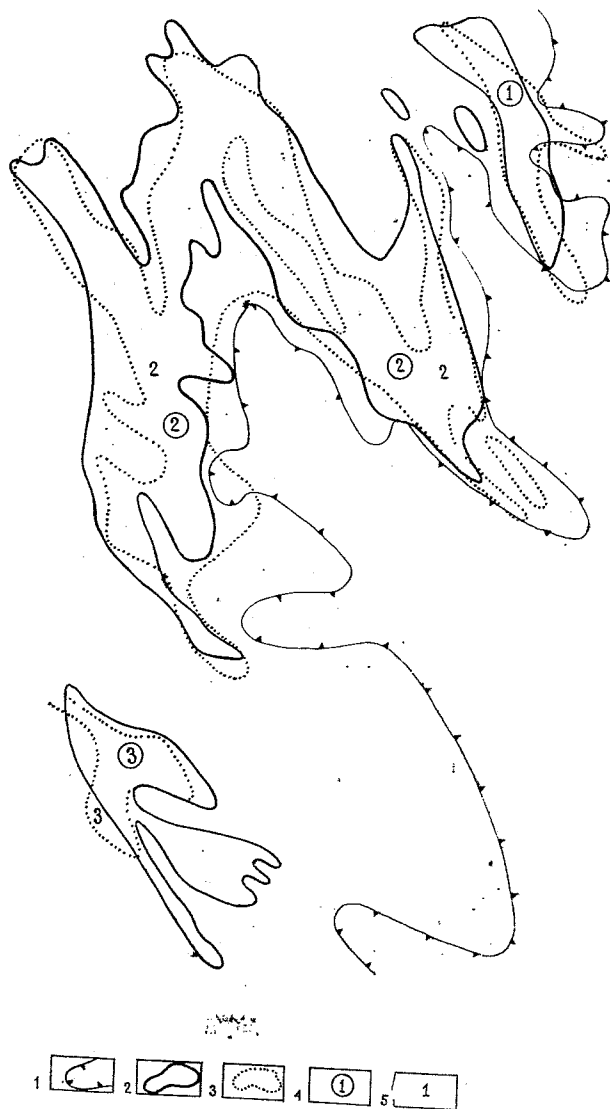


Рис. 29. План рудных залежей в верхнем подгоризонте кампанского яруса на месторождении Северный Карамурун: 1 — граница зоны пластового окисления, проявленного на всю мощность подгоризонта; 2 — урановое оруденение; 3 — селеновое оруденение; 4 — номера залежей урановых руд; 5 — номера залежей селеновых руд

тичному) этапу. Для нее характерно развитие буро-желтого гидрогетита, псевдоморфно замещающего минералы, содержащие закисное железо. Довольно обычны для пластово-окисленных пород белесые тона, обязанные «выгоранию» органического вещества, содержание которого при этом уменьшается до сотых долей процента. Пластово-окисленные породы, как правило, обеднены ураном по сравнению с неокисленными безрудными. Селен же в окисленных породах вблизи рудных тел содержится в больших количествах, чем в неокисленных.

Зона безрудных сероцветных пород однотипна для всех рудовмещающих горизонтов Карамурунского рудного поля. Специфика сероцветных первично восстановленных песчаных пород рудного поля — малое содержание минералов железа, что в совокупности с низкими концентрациями органического вещества определяет блеклые, преимущественно белесо-серые и светло-серые цвета пород.

Зона эпигенетического оруднения подразделяется на ореол рассеяния урана, подзону урановых руд, подзону селеновых руд, ореол рассеяния селена.

Ореол рассеяния урана распространен впереди рудных тел со стороны неокисленных пород. Наиболее мощные и протяженные ореолы установлены в песчано-гравийных породах коньяка, содержащих меньше органического вещества и дисульфидов железа. В породах маастрихта, обладающих более высокими восстановительными свойствами, ореолы более локальны.

Подзона урановых руд ($U \geq 0,01\%$) размещается в сероцветных породах, в которых устанавливаются тонкодисперсные коффинит и настуран. Вблизи контакта с зоной пластового окисления в ассоциации с другими урановыми минералами в богатых рудах встречаются тюямунит и хеггит (V_2O_5). Рудные породы, богатые углистым веществом, помимо урана и селена обогащены ванадием (до 4%), рением (19 г/т), никелем и кобальтом (до 0,04—0,06%), мышьяком (до 0,2%), германием (до 0,3%), медью (до 0,02%), молибденом (до 0,0003%), серебром (до $4 \cdot 10^{-4}\%$).

Подзона селеновых руд соответствует подзоне разрушения урановых руд, выделяемой на месторождениях Чу-Сарысуйской УРП. Она, как правило, разделяет подзону урановых руд и пластово-окисленные породы. В ассоциации с концентрациями селена ($\geq 0,01\%$), представленного его самородной формой в виде относительно крупных (до 0,3 мм) кристаллов, присутствуют дисульфиды железа. Спорадически отмечаются селениды свинца, никеля и кобальта. В породе сохраняется углистый растительный детрит. Промышленные масштабы и преимущественная локализация концентраций селена в подзоне разрушения урановых руд являются наиболее существенными особенностями месторождений Карамурунского района, отличающими его от месторождений Чу-Сарысуйской провинции. Морфология селеновых залежей характеризуется преобладающим развитием ролловых форм.

Ореол рассеяния селена совпадает с подзонами неполного окисления и гидроокисного ожелезнения. Повышенные концентрации селена связаны с мелкокогальчатыми выделениями его самородной формы и, по-видимому, с сорбционным его накоплением в гидрооксидах железа. Он отвечает местоположению бывшей зоны селеновых руд (являясь реликтовым).

Минералогический состав рудных песков в основном не отличается от состава безрудных пород: кварц — 65—80%; полевые шпаты — 7—15%; обломки кремнистых пород (яшмы, кварциты, роговики, сланцы) — 10—25%; слюдистые минералы (мусковит, биотит, флогопит, хлорит) — 1—2%; углефицированные растительные остатки. Из акцессорных минералов присутствуют турмалин, ильменит, лейкоксен, гранат, ставролит, циркон, цоизит, апатит, анатаз, рутил, магнетит, гидрогематит.

Глинисто-алевритовый заполнитель содержится в количестве от единиц до 15—20%. Глинистые минералы — преимущественно гидрослюда с примесью монтмориллонита и каолинита.

Из аутигенных минералов присутствуют пирит, кальцит, доломит, сидерит.

Урановые минералы представлены тонкодисперсными коффином и настураном, образующими вкрапленность в межзерновом глинисто-алевритовом заполнителе, тончайшие пленки вокруг обломочных зерен, псевдоморфозы по растительным тканям углестого детрита. Селеновые концентрации связаны с самородным селеном, ферроселитом, ванадиевые — с туюмунитом и хеггитом.

Геотехнологические особенности месторождений Карамурунского района следующие:

1. Основные запасы локализуются в проницаемых и высокопроницаемых песчаных и гравийно-песчаных отложениях (K_f от 1 до 12 м/сут), причем рудные пески характеризуются в основном равной или более высокой проницаемостью по сравнению с безрудными.

2. Рудам свойственна низкая карбонатность (содержание CO_2 менее 2%) при инертном, труднорастворимом составе основной массы породообразующих минералов и высокорстворимой рудной минерализации.

3. Рудовмещающие водоносные горизонты обычно ограничены достаточно выдержанными по площади и мощности водоупорами и залегают ниже уровня подземных вод.

4. Лабораторные, экспериментальные полевые и эксплуатационные работы показывают, что процесс сернокислотного выщелачивания протекает с высокими значениями основных геотехнологических показателей (степень извлечения урана из недр, отношение Ж:Т, удельные расходы реагента). Процесс выщелачивания стимулируется относительно повышенной (35°C и выше) температурой водной среды горизонтов.

5. Установлено, что селен — основной сопутствующий компо-

нент на месторождениях Карамурунского рудного района — извлекается из руд хлорированными растворами углекислого натрия, хлорированными сернокислотными растворами и особенно эффективно растворами сульфида натрия.

В целом практически все месторождения Карамурунского рудного района с оруденением, залегающим до освоенных промышленностью глубин (600—700 м), пригодны для извлечения урана методом ПВ, что успешно подтверждается эксплуатационными работами, которые проводятся на месторождении Северный Карамурун.

Карактауский урановорудный район. Месторождение Заречное

Месторождение Заречное расположено в южной части Карамурун-Карактауской металлогенической зоны, в Карактауском урановорудном районе, охватывающем площадь одноименного брахиантиклинального поднятия, которое выделяется в юго-восточной части Сырдарьинской впадины.

Геоморфологически Карактауское поднятие является частью плоской аллювиальной равнины р. Сырдарьи, где широко развиты ячеистые и барханные пески.

Месторождение открыто в 1977 г. Кызылкольской (№ 81) партия Краснотуркменского ПГО (Е. А. Эммануилов, В. А. Загоскин).

Особенности геологического строения. Домезозойский субстрат в районе месторождения залегает на глубине свыше 1,3 км (метаморфизованные терригенные складчатые отложения силура — девона, перекрытые средне-позднепалеозойскими образованиями литифицированной части осадочного слоя, прорывающимися их гранитоидными интрузиями позднего палеозоя).

В купольной части Карактауского поднятия глубокой скважиной 15 в интервале 1100—1163 м (неполная мощность) вскрыты озерные, существенно глинистые отложения юры (триасово-юрский СФК).

Мел-палеогеновый платформенный СФК начинается с разреза отложений нижнего мела ($K_{1nc}-al$), сложенного пестроцветными алевролитами с прослоями песчаных глин, мергелей и известняков мощностью около 560 м.

Отложения верхнего мела выходят на дневную поверхность в сводовой части поднятия Карактау и представлены перемежающимися пачками континентальных и морских осадков общей мощностью около 800 м.

Рудовмещающими на месторождении являются отложения кампана и маастрихта. В разрезе пород кампана отчетливо выделяются три ритма сероцветных песков с прослоями алевритистых глин, алевролитов и песчаников мощностью от 15 до 30 м каждый (рис. 30). Пески преимущественно тонко- и мелкозернистые полевые, содержащие органический материал в виде вошпат-кварцевые,

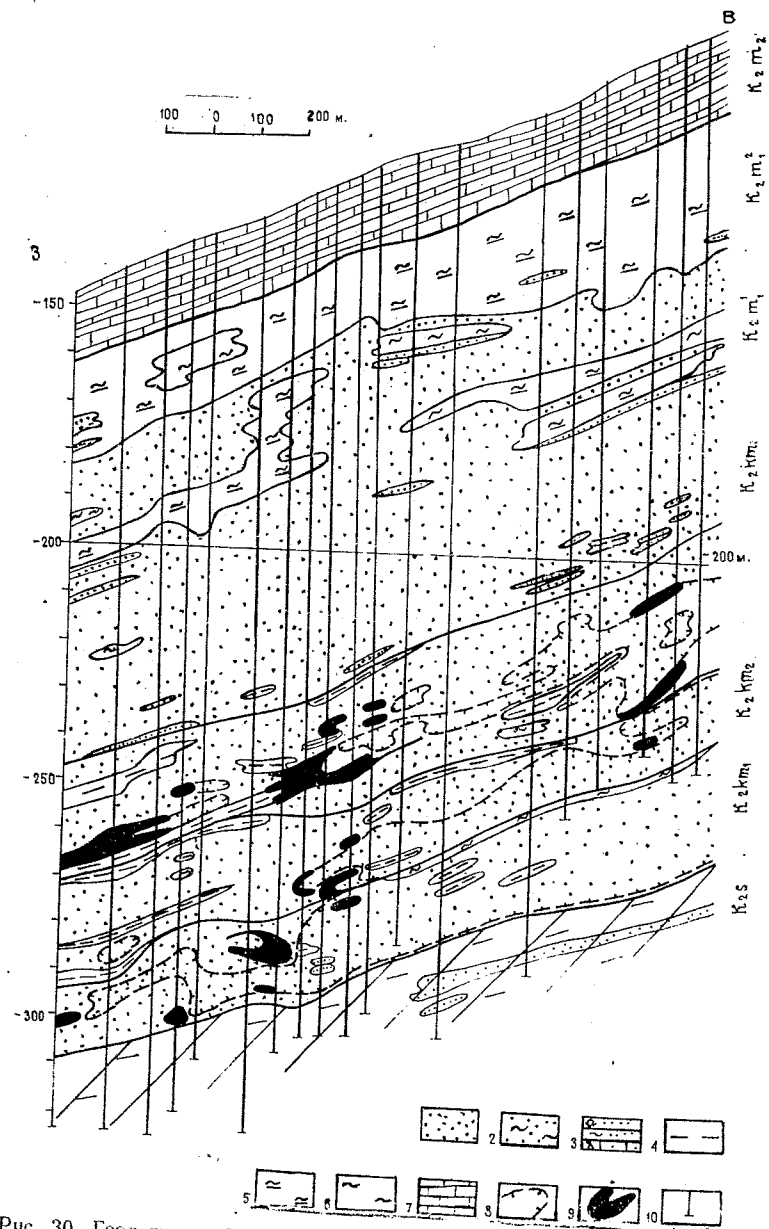


Рис. 30. Геологический разрез по профилю 100 на месторождении Заречном (по В. А. Загоскину и С. Д. Расуловой): 1 — пески; 2 — пески глинистые; 3 — песчаник; 4 — на глинистом цементе; 5 — алевриты; 6 — на карбонатном цементе; 7 — глины алевритистые; 8 — глины; 9 — известняки; 10 — граница ЗПО; 11 — урановое оруденение; 12 — буровые скважины

тонкого детрита. В редких случаях в песках встречаются линзы бурого угля мощностью до 20 см. Породы кампана слабокарбонатные: содержание CO_2 в основном не превышает 0,5%. В составе маастрихта, представленного подводно-дельтовыми и прибрежно-морскими отложениями, отчетливо выделяются две пачки: нижняя, песчано-глинистая (40—120 м) и верхняя, глинисто-карбонатная.

Палеогеновые отложения, эродированные в апикальной части Карактауского поднятия, на его склонах представлены дат-палеоценовыми и эоценовыми образованиями.

Неотектонический (позднеолигоценово-четвертичный) СФК сложен толщей бурых и красно-коричневых алеврито-глинистых и песчаных отложений в основном раннего миоцена, нерасчлененной позднеплиоценово-четвертичной пачкой аллювиально-пролювиальных песков, алеврито-глинисто-гравийных образований, золотых песков. Их общая мощность от сводовой части поднятия (где они размыты) по мере погружения слоев возрастает до 250—300 м.

Структурный план месторождения прост. Рудовмещающие отложения кампана — маастрихта, обнажающиеся в ядре антиклинали, полого (первые градусы) погружаются на запад-северо-запад до глубины 600 м. Моноклиаль сложена двумя системами разрывно-флексурных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания. На площади месторождения разрывные нарушения достоверно не установлены.

В гидрогеологическом отношении месторождение Заречное расположено в южной полосе Среднесырдарьинского артезианского бассейна. Верхний водоупор мощностью 100—150 м надежно разделяет верхнесенонский рудовмещающий и среднеэоценовый надрудный водоносные горизонты. Нижним водоупором служат глинисто-алевритистые отложения кровли сантона мощностью от нескольких единиц до 30 м. Глубина залегания кровли водоносного горизонта 220—600 м.

Подземные воды горизонта высоконапорные. Направление потока подземных вод западное и юго-западное. Коэффициент фильтрации проницаемых пород горизонта 10—15 м/сут. По химическому составу воды пресные, гидрокарбонатно-сульфатные натриевые. Содержания урана варьируют от $2 \cdot 10^{-7}$ г/л в неизмененных сероцветных породах до $3,2 \cdot 10^{-5}$ г/л в зоне пластового окисления и до $1 \cdot 10^{-4}$ г/л в рудной зоне. В водах окисленной зоны присутствует свободный кислород (до 6,5 мг/л), а с продвижением по потоку — сероводород (до 0,2 мг/л) и углекислый газ (до 35 мг/л).

Характеристика уранового оруденения. Основным рудоконтролирующим фактором на месторождении является зона пластового окисления, развитая в проницаемых песчаных отложениях всех ритмов кампана — маастрихта. При этом в разрезе каждого ритма выклинивание зоны пластового окисления происходит не одним простым заливом, а в виде нескольких ступеней и языков, распро-

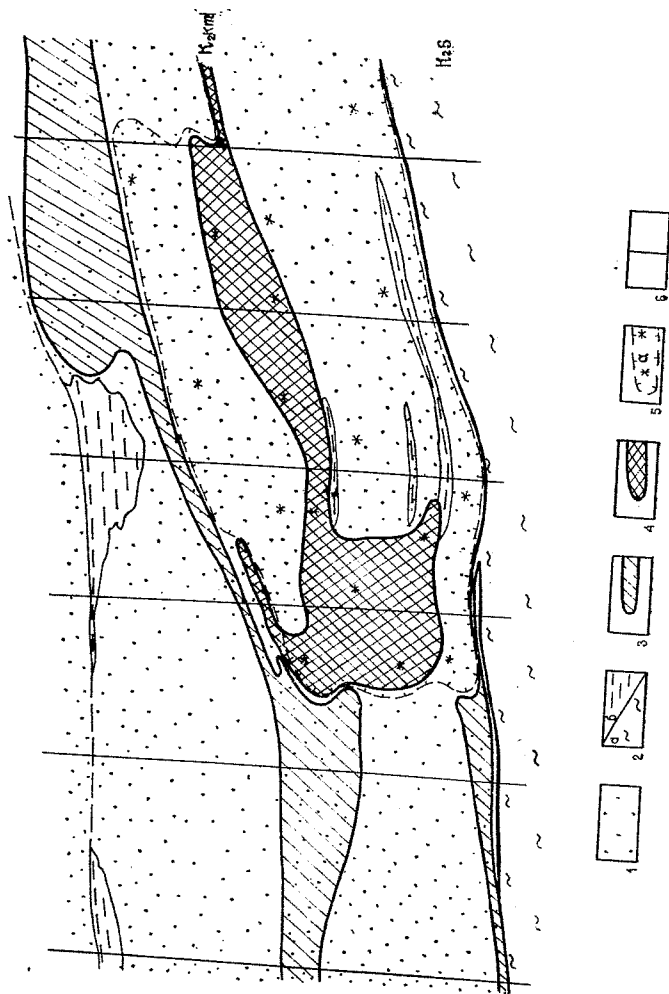


Рис. 31. Расположение урановых и селеновых рудных залежей в поперечном разрезе на месторождении Заречном (по В. А. Загоскину и С. Д. Расуловой): 1 — проницаемые песчаные отложения; 2 — водоупорные породы; 3 — урановое оруденение; 4 — селеновое оруденение; 5 — граница зоны пластового окисления (а); 6 — буровые скважины

лагающихся друг относительно друга кулисообразно. При таком характере развития ЗПО область ее выклинивания имеет значительные размеры в плане при ширине от нескольких сотен метров до 2—3 км, а на юге месторождения — до 5 км.

Месторождение Заречное — комплексное селеноурановое. Рудные тела тяготеют к области выклинивания зоны пластового окисления. На месторождении выявлено пять рудных залежей, из которых три приурочены к отложениям кампана (рис. 31) и две — к песчаным зонам маастрихта. Урановые рудные залежи связаны с первично-восстановленными сероцветными породами, тогда как селеновые залежи локализуются в окисленных (по железу) желтоцветных породах. В разрезе урановые и селеновые залежи сближены, но не совпадают друг с другом, селеновое оруденение зачастую развито между урановым (рис. 31). В плане селеновые и урановые залежи совпадают примерно на 70%. Мощность урановых залежей колеблется от первых до 12 м (в основном 4—6 м), селеновых — от 0,5 до 11 м (в основном 3—5 м). Мощность суммарной продуктивной селеноурановой пачки изменяется от 2 до 20 м, преимущественно 8—12 м. Протяженность рудных залежей от 10 до 30 км. Содержания урана рядовые и колеблются от 0,01 до 0,6%, селена — от 0,039 до 0,053%. Рудные залежи располагаются на глубинах от 400 до 700 м.

Рудоконтролирующая пластовая эпигенетическая зональность на месторождении Заречном близка к рассмотренной для месторождений Карамурунского рудного района.

Эпигенетически неокисленные пески рудовмещающих слоев характеризуются обычным содержанием валового железа (0,07—0,77%) и относительно повышенным содержанием S_{org} (около 0,1%). В алевропелитах и глинах их содержание в среднем выше — соответственно 2,7 и 0,78%.

Зона пластового окисления здесь также имеет зональное строение; в тыловых частях ее облик красноцветный (розовоцветный), во фронтальных — желтоцветный, причем во втором случае она, как правило, ярко выраженного желтого цвета, что свидетельствует о слабом перераспределении железа. Содержание урана в красноцветной зоне не превышает $0,5 \cdot 10^{-4} \%$, в желтоцветной оно несколько выше — $2 \cdot 10^{-4} \%$.

Зона уранонакопления локализуется в сероцветных породах. Урановое оруденение, как правило, связано с породами, характеризующимися повышенным содержанием S_{org} и железа. Сравнительно четко выделяется подзона богатых руд в песках, вблизи контакта их с алеврито-глинистыми породами.

Подзона селенового (точнее, ураноселенового) оруденения распространена между подзоной урановых руд и зоной пластового оруденения, т. е., по существу, совпадает с подзоной разрушения уранового оруденения. Окраска пород в этой подзоне более свет-

лая, белесая, вследствие окисления и выноса органического вещества и железа. Для этой подзоны характерны наиболее высокие концентрации селена и наличие остаточного радиевого ореола.

Минералогический состав руд. В составе рудных (и безрудных) песков преобладают кварц (65—80%), обломки кремнистых пород (5—12%), каолинизированные полевые шпаты (5—10%), в незначительном количестве присутствуют хлорит, биотит, мусковит, обычный набор акцессорных минералов.

Урановая минерализация представлена преимущественно коффинитом (70—90%), реже настураном (до 30%), отмечаются урансодержащие фосфориты, растительная органика, гидроокислы железа. Урановое оруденение дисперсное, вкрапленное. Рудная минерализация сравнительно равномерно распределена в цементе терригенных пород, реже образует мономинеральные скопления с углистым детритом и пиритом. Она встречается в виде черных мелкоагрегатных скоплений, примазок на поверхности обломочных пород, пропитывает глинистый материал, цементирует обломочные зерна.

Селен представлен в основном самородным гамма-селеном, редко встречается ферроселит. Незначительная часть селена в сорбированном состоянии и в виде самостоятельных минералов присутствует в гидроокислах железа, растительном детрите, фосфоритах. Самородный селен отмечается в виде игольчатых кристаллов, сростков мелкозернистой массы в цементе обломочных зерен.

В низких концентрациях в рудах месторождения отмечаются молибден и ванадий ($n \cdot 10^{-4}$ — $n \cdot 10^{-2}\%$), рений не установлен.

По качественной и технологической характеристике руды месторождения Заречного близки к месторождениям Карамурунского рудного поля. Ураноселеновые руды сосредоточены в обводненных проницаемых песках с высоким коэффициентом фильтрации и имеют четкие водоупоры.

Руды месторождения Заречного относятся к силикатному типу с низким содержанием карбонатов, пятиоксида фосфора, углерода и серы. Содержание CO_2 менее 1%, содержание P_2O_5 от 0,03—0,06 до 0,28%.

Урановые минералы легко дезинтегрируются и переходят в раствор. По содержанию металлов руды рядовые и бедные при крупных запасах полезных компонентов.

Проведенные лабораторные исследования и опытные экспериментальные работы свидетельствуют о пригодности месторождения Заречного к отработке методом подземного выщелачивания.

Месторождения в палеогеновых отложениях (Кызылколь-Приташкентская металлогеническая зона)

Кызылколь-Чаянский урановорудный район

Описываемый район, включающий месторождения Кызылколь, Лунное, Чаян, рудоуправления Джетыкудук, Бугунь, Глинково, расположен на юго-западном обрамлении средней части хр. Большой Каратау, на наклонной предгорной равнине (рис. 32).

Рудоносный фронт ЗПО в уюкском и иканском горизонтах эоцена выявлен и прослежен почти на 100 км в 1961—1963 гг. буровыми работами партии № 27 Волковской экспедиции [36]. Тогда же было открыто месторождение Кызылколь и установлено несколько рудопроявлений, в том числе Джетыкудук и Чаян. В 1969—1977 гг. работы были продолжены партией № 81 Красно-

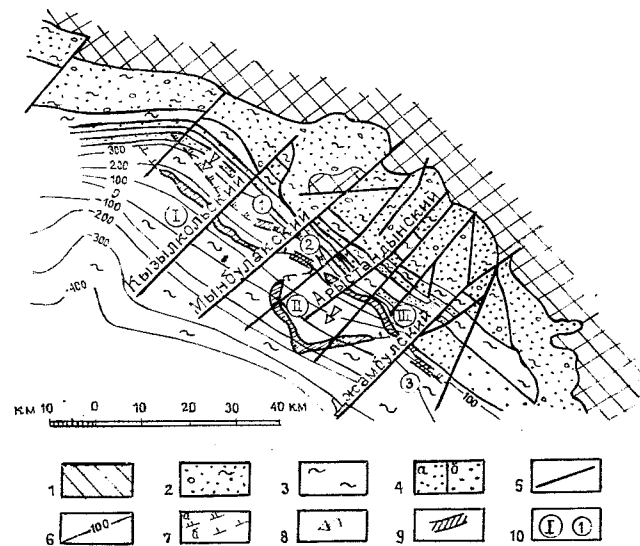


Рис. 32. Структурно-геологическая карта Кызылколь-Чаянского рудного района (по В. А. Загоскину и Ю. М. Смирнову): 1 — выходы докембрийских образований; 2—4 — выходы под неогеново-четвертичные отложения: 2 — пестроцветных континентальных и сероцветных морских отложений верхнего мела, 3 — сероцветных морских глин палеогена, 4 — песчаных волноприбойных отложений; а — уюкского (нижний эоцен), б — иканского (средний эоцен) горизонтов; 5 — разрывно-флексурные нарушения; 6 — изогипсы кровли докембрийских образований; 7 — границы ЗПО: а — в уюкском, б — в иканском горизонтах; 8 — направление потока подземных вод; 9 — рудоносные зоны; 10 — месторождения и рудопроявления урана (цифры в кружках): Кызылколь (I), Лунное (II), Чаян (III), Джетыкудук (1), Бугунь (2), Глинково (3)

холмской экспедиции (Н. А. Малахов, Е. А. Эммануилов), применявшей буровые станки более глубокого бурения, что позволило выявить здесь месторождение Лунное, перевести в разряд месторождений рудопроявление Чаян, обнаружить новые рудопроявления. Месторождения были разведаны и изучены.

Геологическое строение района определяется его местоположением в суборогенной зоне Тянь-Шаньской орогенной области.

Домезозойские образования (терригенно-карбонатные отложения среднего — позднего палеозоя) залегают на глубине более 600 м.

Платформенный мел-палеогеновый комплекс сложен существенно пестро- и красноцветными терригенными отложениями неокома — альба и сеномана, сероцветным глинистым морским горизонтом нижнего турона, слабо расчленяющимися между собой континентальными пестроцветными гравийно-песчаными образованиями верхнего турона — сенона.

В составе отложений палеогена выделяются дат-палеоценовые и эоценовые осадки общей мощностью 100—130 м.

На маломощных песчанисто-карбонатно-глинистых дат-палеоценовых породах залегает рудовмещающий уюкский горизонт раннего эоцена (месторождение Чаян, рудоуправление Бугунь и Глинково), в котором рудоносная песчаная пачка (15—25 м) размещается между двумя глинистыми — кызылчинской (нижней) и «межгоризонтной» (верхней). Рудоносная пачка сложена серыми и светло-серыми полевошпат-кварцевыми и кварцевыми песками с прослоями песчаников, алевролитов и глин, песчаников-ракушечников.

На глинах «межгоризонтной» пачки с размывом залегают отложения среднеэоценового иканского горизонта, основного рудовмещающего в этом районе. Горизонт представлен мелко- и среднезернистыми полевошпат-кварцевыми песками с многочисленными линзами и прослоями песчаников, доломитов, песчаных устричников, глин и опоковидных пород.

Отложения верхнего эоцена образуют монотонную толщу зеленовато-серых слоистых глин мощностью 100—250 м.

На различных горизонтах мела и палеогена с глубоким размывом и угловым несогласием залегает красноцветная поздне-олигоценно-миоценовая существенно глинистая толща (до 250 м), в свою очередь, перекрытая шлейфом позднелигоценно-четвертичных валунно-галечных образований, бурых и палевых глин и алевролитов, суглинков, песков общей мощностью до 30—50 м.

Основная *тектоническая структура* района — горст-антиклинарий Большого Каратау, образующий моноклинал, погружающуюся на юго-запад под углами 2—5° и разбитую на систему блоков северо-западными, северо-восточными и отчасти близширотными разрывно-флексурными нарушениями (см. рис. 32). В центральной части района выделяется пологое Бестюгайское горст-ан-

тиклинальное поднятие, поперечное по отношению к хр. Большой Каратау.

Северо-восточные разрывные нарушения создают осложнение этой структуры, проявленное в рельефе уступами высотой до 30 м.

Гидрогеологически район расположен на северо-восточном крыле Среднесырдарьинского артезианского бассейна. Рудовмещающие уюкский и иканский горизонты являются частью водоносного мегакомплекса мел-палеогеновых отложений с напорными пластовыми водами. Они вскрыты скважинами на глубинах 33—284 и 40—480 м соответственно и имеют мощность 15—25 и 25—30 м. Надежно изолированные верхним и нижним водоупорами горизонты характеризуются высокими пьезометрическими напорами от —25 до +15 и от —15 до +20 м соответственно от поверхности земли. Удельные дебиты 0,06—0,18 л/с. Воды горизонтов слабощелочные (рН 7,2—7,7) гидрокарбонатно-сульфатные или сульфатно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией от 0,4—0,8 г/л (месторождение Кызылколь) до 1—3 г/л (месторождение Чаян).

В настоящее время воды обоих горизонтов характеризуются слабовосстановительной средой (Ен от 0 до +40 мВ), фиксируемой присутствием сероводорода, в том числе и в водах зоны пластового окисления. Содержание урана в водах ЗПО в основном изменяется в пределах $(1—5) \cdot 10^{-6}$ г/л (в зонах окисления и оруденения), только в иканском горизонте месторождения Чаян оно повышается до $(5—10) \cdot 10^{-6}$ г/л, а на месторождении Кызылколь — местами до $1,3 \cdot 10^{-6}$ г/л. В эпигенетически неокисленных породах ниже зоны оруденения по падению содержание урана падает до $n \cdot 10^{-7}$ г/л. Концентрация радия редко превышает $n \cdot 10^{-13}$ г/л, а содержание радона в водах рудных скважин достигает 400 эман/л.

Урановое оруденение локализуется на границах ЗПО. Рудные залежи в плане имеют вид извилистых лент протяженностью от нескольких сотен метров до первых километров при ширине от нескольких десятков до 300 м. В поперечных разрезах они образуют либо простые роллы, либо системы сближенных роллов, разделенных маломощными водоупорными слоями (рис. 33). Глубина залегания оруденения на месторождении Кызылколь от 129 до 200 м, на месторождении Лунное от 310 до 530 м.

Содержание урана в рудах обычно сотые доли процента, редко оно повышается до первых десятых долей процента; мощность, как правило, до первых метров. Селеновая минерализация (тысячные до первых сотых долей процента) представляет лишь минералогический интерес, мощность селеноносных интервалов обычно не более 1 м.

Эпигенетическая рудоконтролирующая зональность имеет обычный вид.

Зоне эпигенетически неокисленных пород свойственны первичные сероцветные геохимические типы отложений. В составе пе-

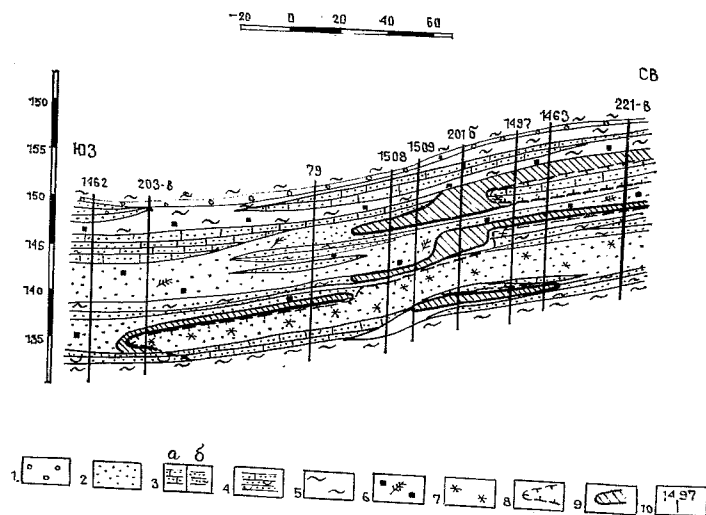


Рис. 33. Литолого-геохимический разрез рудовмещающего иканского горизонта на месторождении Кызылколь по профилю № 6 (по Е. А. Новгородцеву): 1—5 — литологические типы пород: 1 — гравелиты, 2 — пески мелко- и среднезернистые, 3 — песчаники с карбонатным (а) и глинистым (б) цементом, 4 — песчаники-ракушечники, 5 — глины алевитистые, 6 — диагенетически восстановленные сероцветные породы с углистыми остатками и сульфидами железа; 7 — пластово-окисленные породы; 8 — граница ЗПО; 9 — урановое оруденение; 10 — буровые скважины и их номера

сков преобладает кварц — 80—90%, полевые шпаты составляют 5—7%, зерна фосфоритов — 3—5%, углистый детрит — до 1—2%. Акцессорные минералы (в сумме 1—1,5%) — турмалин, эпидот, ставролит, ильменит, лейкоксен и другие.

Из аутигенных кроме фосфоритов присутствуют пирит, доломит, цеолиты.

Пески иканского горизонта слабокарбонатные (CO_2 от 0,5 до 1,0%), уюкского — некарбонатные (CO_2 0,2—0,3%). Содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ и валового железа в песках 0,1—0,2 и 0,4—0,84% соответственно; в глинах они возрастают до 0,52—1,53 и 1,55—2,84%. Концентрация P_2O_5 во всех типах пород варьирует в интервале 0,1—0,7%.

Содержание урана в неизмененных сероцветных породах в среднем $(1-4) \cdot 10^{-4}\%$. Оно выше в доломитистых алевролитах — $(3-4) \cdot 10^{-4}\%$ и глинистых песчаниках — $3 \cdot 10^{-4}\%$ и существенно ниже в кварцевых песках — $(0,7-2) \cdot 10^{-4}\%$.

Зона уранонакопления включает подзону ореола рассеяния урана (изучена недостаточно) и уранового оруденения, где содержание урана $\geq 0,01\%$ и радиоактивное равновесие между ураном

и радием сдвинуто в сторону первого (средний $K_{\text{pp}} = 0,6-0,8$). Между тем высокие значения K_{pp} (1,3—1,5) наблюдаются как в передовых, так и в тыловых частях подзоны оруденения. Возраст оруденения на месторождении Лунном по палеодозиметрическим данным 7—10 млн лет.

В области контакта урановых руд с зоной лимонитизации выделяется подзона селеновой минерализации (игольчатые кристаллы самородного гамма-селена).

Зона пластового окисления подразделяется авторами разведочных работ на две подзоны: частичного и полного окисления (по железу).

Подзона частичного окисления зеленовато-желтой и белесоватой окраски, ее ширина несколько метров. Подзона полного окисления проявлена сплошной лимонитизацией пород и в целом имеет светло-желтый цвет.

Содержание урана в пластово-окисленных породах варьирует от $3 \cdot 10^{-4}$ до $n \cdot 10^{-5}\%$, и в целом оно снижается к тыловым частям зоны, что, по нашему мнению, может свидетельствовать о присутствии подзоны неполного окисления, о которой авторы разведочных работ не упоминают.

Минералогический состав руд. Оруденелые пески от безрудных отличаются более темным цветом лишь на участках максимального скопления урановых минералов. Поскольку изучение последних в основном проводилось без применения рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии, то авторы разведочных работ отнесли их к «урановой черни». Скорее всего, эти минералы представляют собой тонкодисперсный агрегат оксидов урана и коффинита с неустановленным соотношением последних.

Установлено, что основная масса урана (42—90%) сосредоточена в глинисто-алевроитовом заполнителе песков. Часть его входит в состав минеральных пленок, налетов, примазок на обломочных зернах пород и часто ассоциируется с углистыми остатками, зернами фосфоритов, пиритом.

Геотехнологические особенности месторождений в эоценовых горизонтах. Из анализа приведенных выше сведений следует, что руды месторождений Кызылколь-Чаянского района характеризуются целым рядом параметров, соответствующих условиям эксплуатации методом ПВ (минеральный и химический состав, геологическое строение, гидрогеологическая структура и др.). Однако проведенные полевые и лабораторные испытания метода ПВ однозначно показали, что повышенная и крайне неравномерная карбонатность пород, широкое распространение в рудоносных горизонтах безрудных ракушечников (устричников), интенсивно реагирующих с кислыми растворами, практически исключают использование серноокислительного способа ПВ при отработке месторождений, приуроченных к отложениям палеогена. Вместе с тем

выявлено, что геотехнологические условия этих месторождений благоприятны для добычи урана бикарбонатными растворами с применением окислителей (перекись водорода, кислород).

В настоящее время месторождения данной группы не являются первоочередными для добычи урана способом ПВ.

Среднеилийский урановорудный район в Илийской урановорудной провинции

Ведущим типом месторождений Илийской субпровинции является ураноугольный. Пластово-инфильтрационные месторождения региональных зон пластового окисления в проницаемых песчаных горизонтах в основном сосредоточены в Среднеилийском урановорудном районе. Они представлены группой небольших не-промышленных объектов и крупным Сулучекинским месторождением.

Месторождение Сулучекинское *

Месторождение находится в северном борту Илийской впадины, в седловине между низогорными возвышенностями Кату и Калканы (рис. 34). Вблизи месторождения протекает сухоходная река Или. В 30 км севернее проходит асфальтовое шоссе Алматы — Сарыозек — Хоргос, с которым месторождение соединено грейдерной автодорогой.

Сулучекинское месторождение открыто в 1978 г. партией № 11 предприятия «Волковгеология» в результате проведенного поисково-рекогносцировочного бурения. Внескольких километрах к западу расположено выявленное и оцененное партией № 15 в 1961—1962 гг. Калканское урановое месторождение, которое в настоящее время находится в охранной зоне государственного заповедника.

В 1979—1983 гг. партией № 11 проведена оценка промышленных перспектив Сулучекинского месторождения, а в 1984—1990 гг. — его предварительная разведка.

Геологические особенности. В палеозойской структуре Илийская впадина выделяется в виде крупного одноименного синклинария, докембрийский фундамент которого выведен на дневную поверхность в Чу-Илийских горах, а элементы нижнепалеозойского структурного этажа проявлены в виде изолированных блоков в горных хребтах Джунгарии. Породы среднепалеозойского структурного этажа развиты повсеместно в форме пологих брахискладок с углами падения на крыльях до 35—40°. Позднепалеозойские (средне-позднекарбоновые и пермские породы), залегающие

* Описание проводится на основе данных разведочных работ партии № 11 Волковского предприятия (Ф. Г. Хамитов, Г. Н. Алексеев и др.).

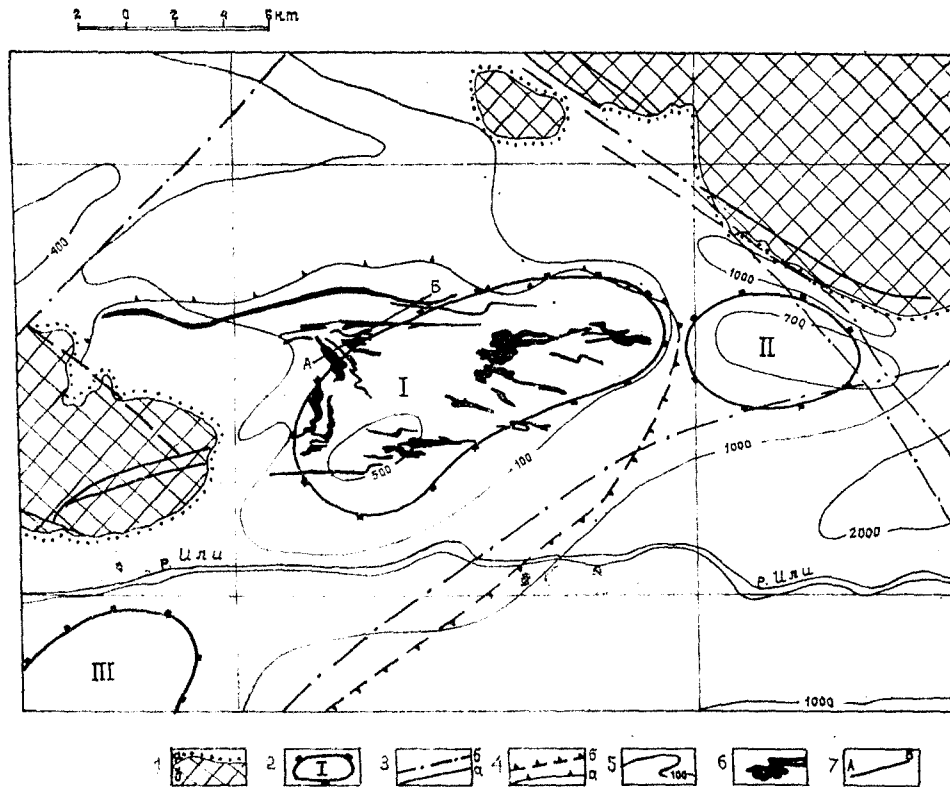


Рис. 34. План рудоносности Сулучекинского месторождения (по Ф. Г. Хамитову): 1 — границы между мезозойско-кайнозойскими (а) и докембрийскими образованиями (б); 2 — локальные антиклинальные структуры: I — Восточно-Калканская, II — Придорожная, III — Южно-Калканская; 3 — зоны разрывных нарушений: а — достоверные в докембрийских образованиях, б — в мезозойско-кайнозойском чехле; 4 — граница распространения рудомещающих сероцветных песков в продуктивном горизонте: установленная (а) и предполагаемая (б); 5 — изопакхиты мезозойско-кайнозойских отложений; 6 — урановое оруденение; 7 — линия геологического разреза

в основании мезозойско-кайнозойского чехла, представлены существенно эффузивными и пирокластическими образованиями.

Стратиграфия мезозойско-кайнозойского чехла во многом дискуссионна. В основании залегает довольно мощная (60—120 м), существенно песчаная толща, именуемая авторами работ древнеилийским горизонтом (см. рис. 35), возраст которого оценивается в широком диапазоне K_2 — Pg_2 (по нашему мнению, этот горизонт сопоставим с жалпакским K_2 km— Pg_1^1).

Северная граница горизонта проходит в 10—15 км к северу от месторождения. В предгорьях Калканы и Актау он выходит на дневную поверхность, а в южном и юго-восточном направлениях погружается на глубину свыше 1000 м.

Отложения, рудовмещающего древнеилийского горизонта представлены сложнопостроенной толщей полевошпат-кварцевых разнородных песков с незначительными по мощности линзами и прослоями глин, алевроитов, гравийников, подчеркивающих отчетливо выраженное ее циклическое строение. В горизонте в плане оконтурены субширотные и близмеридиональные русловые зоны с преобладанием крупнозернистых фракций в песках, указывающие на положение рудного поля в области сочленения речных подгорно-верных потоков с крупной системой палео-Или близширотного направления.

Выше залегают отложения актауской свиты, разделяющиеся на две подсвиты (пачки): калканскую и кайчинскую. Авторы разведочных работ без достаточно надежного обоснования оценивают их возраст как ранне-среднеолигоценовый, тогда как анализ региональной ритмостратиграфии вполне позволяет допустить средне-позднеолигоценовый возраст их накопления.

Калканская пачка представлена красноцветными разнородными песчаниками с карбонатно-глинистым цементом (CO_2 до 5—6%, сумма глинисто-алевритовых частиц 15—30%). Окраска песчаников к югу сменяется на серую, темно-серую, возможно, по мнению авторов, эпигенетическую. В этом же направлении возрастает до 30 м и мощность пачки.

Кайчинская пачка имеет сложное строение: нижняя часть (5—15 м) выполнена зеленовато-серыми неслоистыми глинами с маломощными (до 0,5 м) прослоями карбонатных песчаников, с включениями пирита и углистого растительного детрита; в средней части (5—10 м) преобладают гипсы и глиногипсы с линзами серых и красно-бурых песков, в верхней — пестроцветные алевроиты, известковые песчаники. Общая мощность 10—40 м.

Джамбылбастауский горизонт (Pg_3^3), сопоставимый с бетпак-далинским (Pg_3^3 — N_1^1) в Чу-Сарысульской депрессии, залегает на подстилающих отложениях с размывом и угловым несогласием. В основании развиты красноцветные гравийно-галечные конгломераты (5—15 м) с разнородными карбонатными

песчаниками с гравием и прослоями глин. Содержание CO_2 варьирует в пределах 5—20%.

Отложения неогена представлены павлодарской (N_1^2 — N_1^1) и илийской (N_2^{2-3}) свитами. Павлодарская свита характеризуется преобладанием аргиллитоподобных зеленых и голубовато-серых глин с прослоями мергелей, известняков, гипсолитов озерного происхождения. Выделяется базальный слой грубозернистых полимиктовых песчаников мощностью 3—6 м с карбонатным цементом. Общая мощность 66—90 м. В илийской свите доминируют алевропелиты, глины, алевропесчаники палеовые, розовые, серые, с прослоями песков мощностью 0,5—10 м, а также лигнитов и мергелей. К бортам впадины отложения налегают на нижележащие образования (вплоть до палеозойских) с резким угловым несогласием. Породы в основном карбонатные. Общая мощность 50—330 м.

Четвертичные отложения образуют покров, достигающий на периферии рудного поля 30—60 м. В центре месторождения они представлены останцами мощностью до 1,5—5 м. В их составе преобладают аллювиально-пролювиальные щебенисто-древянные образования, в южной части распространены золотые пески, суглинки.

Тектоническая структура. Месторождение расположено в сложной тектонической обстановке — в зоне перехода к области высокоамплитудного орогена. Рудное поле находится в Сулукчинском прогибе, представляющем собой блок, погруженный относительно горстовых сооружений Калканы и Катунь и в то же время входящий в систему поднятий, отделяющих Басчи-Конуролenskую впадину от Илийской (см. рис. 34). Одним из элементов этой системы является, в частности, Восточно-Калканская брахиантклираль с северо-восточным простиранием осн, занимающая практически всю площадь месторождения. Отмечается асимметричность строения брахиантклинали: ее северо-западный склон существенно круче, чем юго-восточный.

Разрывная тектоника представлена системой крупных краевых разломов северо-западной (Сулукчинский, Калканские) и северо-восточной (Актауский) ориентировки. Кроме того, на месторождении выделяется система мелких тектонических блоков, ограниченных нарушениями, которые проявлены в чехле и, в частности, в рудовмещающем горизонте флексурными перегибами, возможно, местами с разрывом сплошности слоев.

Таким образом, Сулукчинское месторождение характеризуется специфической структурной позицией: оно расположено в тектоническом блоке, в котором создались условия для «консервации» диагенетически восстановленных сероцветных песков древнеилийского горизонта (на большей части окружающей территории последние были окислены уже в ранние стадии литогенеза).

Гидрогеологические и гидрогеохимические особенности. Рудовмещающий древнеилийский горизонт ограничен региональными водоупорами: снизу палеозойскими породами с развитой глинистой корой выветривания и сверху карбонатно-глинистыми песчаниками калканской и кайчинской пачек. Внутреннее строение горизонта достаточно неоднородно и по составу слагающих его песков, и вследствие присутствия многочисленных маломощных линз и прослоев глин и алевропелитов.

Глубина залегания его кровли изменяется от 300 м на восточном фланге до 400 м в центральной и до 500 м (и более) в южной частях месторождения. С северо-востока на юго-запад возрастает и величина напоров над поверхностью земли — от $(+10) - (+20)$ до $(+70) - (+80)$ м.

Современный поток направлен с северо-запада на юго-восток; при уклоне зеркала вод 0,01, средней величине K_{ϕ} пород 2,85 м/сут (от 1 до 6,8 м/сут) скорость естественного потока составляет 0,0285 м/сут, или около 10,4 м/год.

К югу и западу хлоридно-сульфатные натриевые воды (часто с кислородом) сменяются бескислородными хлоридными (как правило, с сероводородом). Из других газов присутствуют азот (92—97 об. %), углекислота, аргон и метан.

Общая минерализация вод продуктивного горизонта с северо-запада на юго-восток возрастает от 2 до 10 г/л.

Отмечается изменение состава и величины общей минерализации вод с глубиной: развитие в верхней части хлоридно-сульфатные натриевые воды с минерализацией 2,5 г/л к основанию сменяются сульфатно-хлоридными натриевыми с минерализацией 3,6—5,6 г/л. Температура воды 28—33 °С.

По данным спектрального анализа в водах отмечены повышенные концентрации (мкг/л): железа и кремния — до 100 000, алюминия — 14 000, цинка — 6500, стронция — 4300, марганца — 3000, лития — 1700, молибдена — до 1300; также присутствуют (мкг/л): титан — 500, хром — 300, барий — 160, никель — 130, медь — 52, кобальт — 30, ванадий — 6, серебро — 2.

По своему химическому составу воды древнеилийского горизонта представляют собой самостоятельный лечебный тип («феодосийский») и рекомендуются для бальнеологического использования.

В качестве минеральных лечебных могут использоваться и пластовые воды вышележащего джамбылбастауского горизонта, также высоконапорные, с самоизливом, с общей минерализацией от 1,4—1,6 до 14—15 г/л. По солевому и газовому составу они близки водам древнеилийского горизонта.

Содержание урана $(1-1,6) \cdot 10^{-6}$ г/л, радия $(0,2-0,5) \times 10^{-11}$ г/л, радона 20—25 эман, гелия 0,5—2,2 об. %.

Кроме того, отмечается присутствие (мг/л): йода — до 0,5, брома — до 4,9, фтора — до 5,5, а также микрокомпонентов

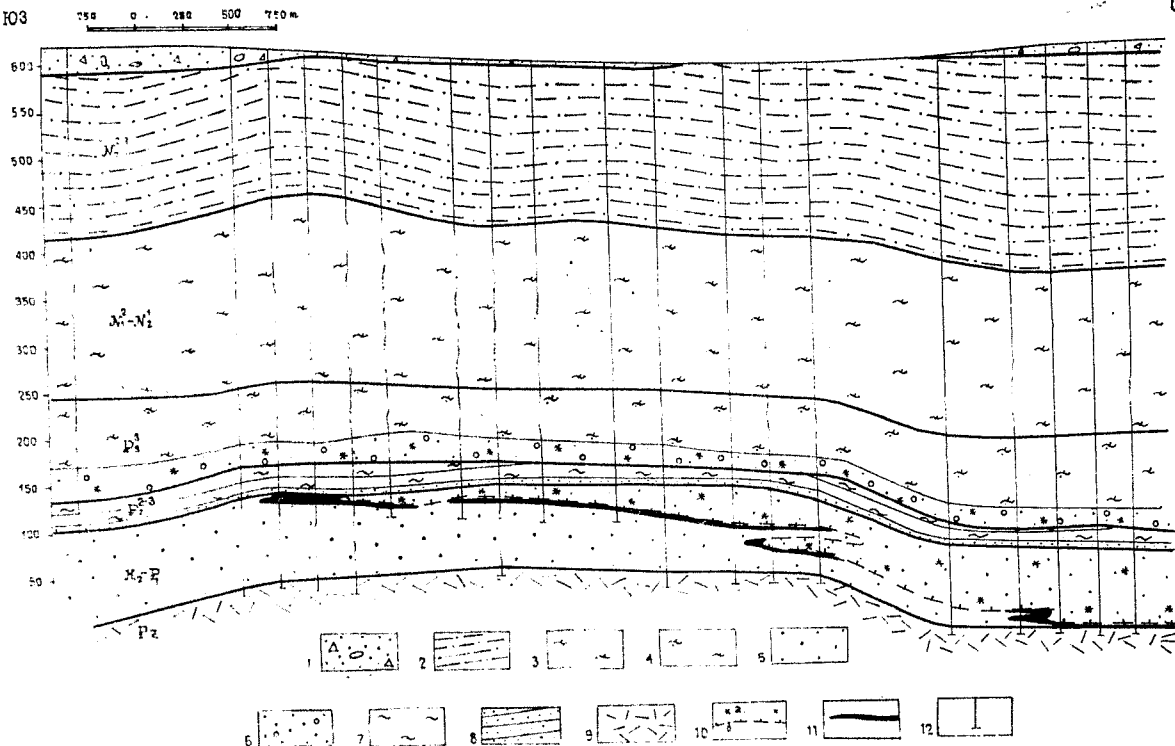


Рис. 35. Позиция уранового оруденения в поперечном геологическом разрезе Сулучекинского месторождения (по Ф. Г. Хамитову): 1 — валунисто-галечные отложения, супеси и суглинки; 2 — алевропесчаники и песчаные алевролиты; 3 — глины карбонатные с гипсами; 4 — глины известковые аргиллитоподобные; 5 — пески мелко- и среднезернистые; 6 — пески разнозернистые с гравием; 7 — глины; 8 — песчанки разнозернистые; 9 — туфы и туфопесчанки среднего структурного этажа; 10 — пластово-окисленные отложения (а) и их граница (б); 11 — урановые рудные тела; 12 — буровые скважины

(мкг/л): стронция — 21 000, железа — 5200, циркония — до 5200, марганца — 4200, молибдена — до 1100, алюминия — 630, лития — 420, титана — 410, никеля — 34, меди — 17.

Среди минеральных типов вод джамбылбастауского горизонта выделены «буйский» тип наиболее минерализованных вод (12,6—14,2 г/л), «феодосийский» (3,4 г/л), «угличский» (1,6—4,5 г/л) лечебно-минеральные типы.

Урановое оруденение изучалось и разведывалось до глубины 700 м, освоеной в других районах промышленностью, при эксплуатации аналогичных месторождений способом ПВ. Оно приурочено к водопроницаемым песчаным отложениям древнеилльского горизонта и контролируется границами полного или локального выклинивания зоны пластового окисления (рис. 35).

Окислительные процессы разделены на две разновозрастные стадии: рудоконтролирующее пластовое окисление, начавшееся в позднем олигоцене, и позднеплиоценово-четвертичное грунтово-пластовое окисление, развивающееся на выходах рудовмещающего горизонта в районе гор Калканы и образующее короткие (до 100—200 м) пластовые «затеки».

Рудоконтролирующее окисление распространяется с востока-северо-востока, сначала охватывая горизонт на всю его мощность, а затем образуя «внутрислойную» зону. В вертикальном разрезе с северо-востока на юго-запад наблюдается последовательное сокращение мощности ЗПО от подошвы горизонта к его кровле (рис. 35). При этом нижняя граница окисления создает несколько вертикальных «уступов», приуроченных к участкам изменения литологии горизонта и проницаемости пород по вертикали. Нередко такие «уступы» сопровождаются формированием неглубоких локальных «языков» окисления. Полное выклинивание рудоконтролирующей ЗПО установлено в западной части рудного поля, где оконтурен реликтовый участок размером 4×2 км, на котором пластовое окисление в древнеилльском горизонте вообще не проявлено (на остальной части месторождения горизонт в той или иной мере окислен).

Подчиняясь такому плану развития рудоконтролирующей зоны окисления, урановое оруденение, контролируемое его нижней границей, образует сложную систему рудных залежей, представленных многочисленными телами неправильной формы, чаще всего удлиненной, линзовидно-полосовидной формы. В вертикальном разрезе они отчетливо приурочены к отмеченным выше «уступам» и усложнениям нижней границы окисления на разных вертикальных уровнях.

В соответствии с особенностями рудоконтроля на местожелении доминируют пласто- и линзообразные залежи, нередко в сочетании с «мешковыми» формами. Типичные роллы характерны только для участков полного выклинивания зоны пластового окисления в верхней части горизонта (залежь 2а).

Предварительная разведка с выявлением запасов категории С₂ проведена на девяти рудных залежах, протяженность которых изменяется в пределах 2—6 км, ширина 150—2000 м.

Рудные залежи по сравнению с месторождениями Чу-Сарысуйской провинции характеризуются незначительной (в среднем 2—3 м) мощностью, но достаточно высоким содержанием урана в рудах (в среднем 0,07—0,13%).

Рудоконтролирующая зональность и оруденение отличаются рядом особенностей, которые прежде всего обусловлены литологической и геохимической спецификацией рудовмещающих отложений. Они представлены породами сероцветного литогеохимического типа с относительно высоким содержанием валового железа (преимущественно 2—2,5%), его сульфидной формы (0,2—0,3%), органического углерода (в основном 0,6—0,15%). Вследствие относительно высокой восстановительной способности пород эпигенетические зоны в области геохимического барьера выглядят достаточно узкими и контрастными. Как правило, в головной части ЗПО выделяется узкая (1—5 м) подзона с частичным окислением обугленного растительного детрита и реликтивными желваками пирита (в гетитовой «рубашке»).

Зона уранового оруденения на Сулукчинском месторождении характеризуется повышенными концентрациями рения (1—24 г/т), селена (0,001—0,003, реже до 0,005% и более). Наблюдаются также аномальные содержания ($\cdot 10^{-4}\%$): Мо — 34; германия, цинка — 114; меди — 112; Pb — 62; As — 129; Co — 38.

Аномальные концентрации селена ($\geq 0,01\%$) локализуются в головной подзоне лимонитизации («гидроокисного ожелезнения»), где они проявлены практически повсеместно и не образуют выделенных промышленных тел лишь из-за малой мощности рудных интервалов (рис. 36). Такие залежи селеновых руд оконтурены только в западной части месторождения, в тыловой части урановорудных залежей роллового типа, где содержание селена варьирует в пределах 0,017—0,144% на мощность 1,9—7,2 м (в единичных случаях — до 0,532% на мощность 0,45 м). Среднее содержание селена по группе ролловых залежей 0,043%, мощность 3,36 м.

Присутствие устойчивых концентраций селена в подзоне гидроокисного ожелезнения позволило авторам разведочных работ выделить последнюю в качестве зоны селенового оруденения.

Рений наряду с селеном является наиболее устойчивым сопутствующим компонентом. Он концентрируется в зоне эпигенетического уранонакопления, в двух ее подзонах: уранового оруденения и ореола рассеяния урана (рис. 36). В контурах урановорудных залежей роллового типа он накапливается повсеместно в количестве от 0,55 до 7,8 г/т (в среднем 1—2 г/т). В линзовидно-пластообразных телах среднее содержание рения около 0,7 г/т (с вариациями по рассеянию от 0,1 до 1,0 г/т, редко до 2—3 г/т). В подзоне ореола рассеяния урана (впереди ролловых залежей)

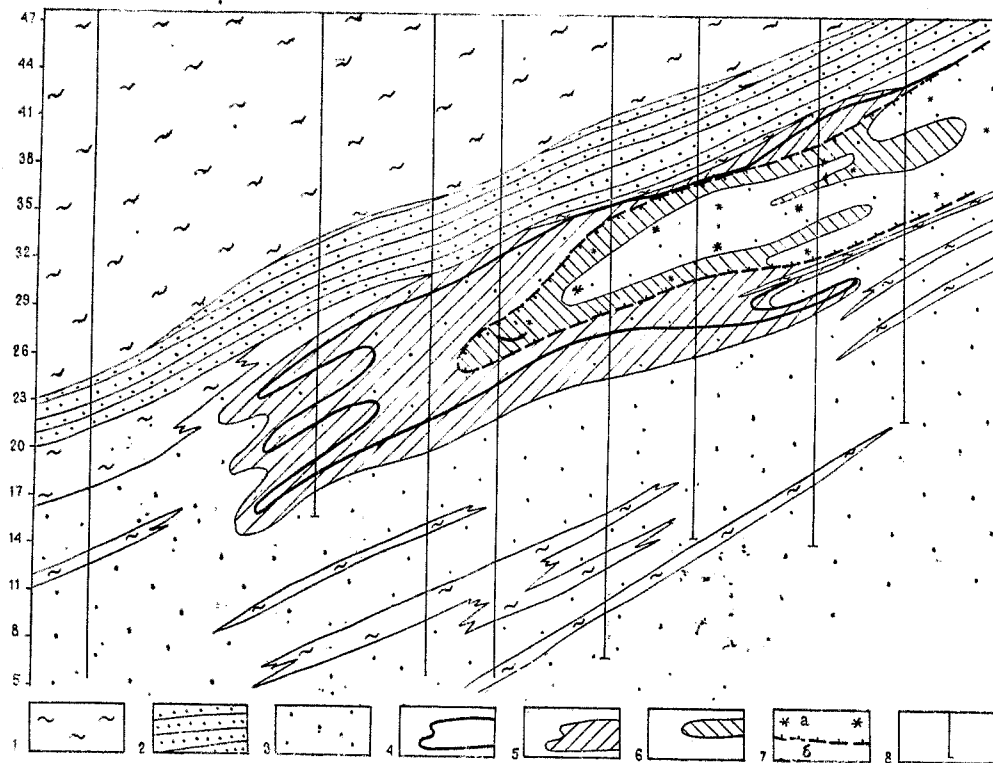


Рис. 36. Распределение рения и селена в поперечном разрезе залежей Судлучкинского месторождения (по Ф. Г. Хамитову): 1 — глины; 2 — пестроцветные разномеристые песчаники; 3 — пески; 4 — урановое оруденение; 5 — рениеносные залежи; 6 — селеновое оруденение; 7 — пластово-окисленные отложения (а) и их граница (б); 8 — буровые скважины

концентрации рения — от 0,1 до 3—5 г/т, иногда до 10—24 г/т — прослеживаются на десятки метров, местами до 100 м и более, что позволило авторам разведочных работ выделить данную подзону в качестве самостоятельной зоны рениевого накопления. Максимальные концентрации рения в песках приурочены к прослоям, обогащенным углефицированным растительным детритом и окатышами глини.

Поскольку рений при подземном выщелачивании извлекается в раствор совместно с ураном, существенно повышая рентабельность эксплуатационных работ, Сулучекинское месторождение может быть отнесено к комплексным — рениевоурановым.

В ходе предварительной разведки месторождения целенаправленно изучалось наличие в его рудах практически значимых примесей других редких рассеянных элементов — скандия, иттрия и суммы редкоземельных элементов.

Отмечены слабые эпигенетические концентрации иттрия преимущественно в относительно богатых песчаных урановых рудах — до 66 и 318 г/т (в среднем по месторождению 19,3 г/т), тогда как в окисленных породах и в безрудных серых песках они составляют 13 г/т. Сумма редкоземельных элементов в песчаных урановых рудах в 1,2—1,4 раза выше, чем в пластово-окисленных породах.

Вещественный состав оруденения. Обломочный материал рудных и безрудных песков состоит из кварца (в среднем 62%), полевых шпатов (16%, а в мелкозернистых песчаных классах до 25%), кремнистых пород (максимум 7,3%), слюдяных минералов (не более 2%), углистого детрита. Акцессорные минералы: турмалин, ставролит, эпидот, андалузит, диопсид, реже циркон, анатаз, сфен, рутил, анатит — в сумме составляют менее 1%. Значительную часть тяжелой фракции (иногда до 65%) представляет эпигенетический пирит.

Глинисто-алевролитовый заполнитель песчаных руд, составляющих не более 20 % всей массы породы, содержит не более 6,1 % собственно глинистых фракций.

Текстуры руд вкрапленные и гнездово-вкрапленные, структуры дисперсные.

Урановые минералы представлены настураном (около 82%) и коффинитом (18%). Последний, как правило, ассоциируется с углефицированным растительным детритом, в котором выполняет клеточные полости. Настуран рассеян в глинисто-алевролитовом заполнителе песков.

Урансодержащие минералы представлены лейкоксенизированными пльменитами и лейкоксенами, а также слюдами.

Селен представлен самородным гамма-селеном (обычно в нелимонитизированных песках) и ферроселитом, преимущественно в окисленных лимонитизированных породах. Оба развиваются в поровом пространстве заполнителя песков. Ю. В. Яшунский

(ВИМС) в рудах месторождения обнаружил новый селеновый минерал, названный джаркенитом, являющийся кубической модификацией диселенида железа. Вероятно, это редкая минералогическая находка.

Рениевые минералы однозначно не установлены. По данным электронной микроскопии (Л. С. Петрова, П. Е. Чистилин), в образцах рениевой углефицированной органики выявлены весьма необычные микрокристаллиты, которые на основании установленных параметров кристаллической структуры диагностированы как перренаты серебра (AgReO_4).

Молибден в участках своей максимальной концентрации представлен дисперсным ильменитом. В единичных случаях определены минералы цинка (клеюфан — прозрачная разновидность сфалерита) и свинца (галенит).

Из других сопутствующих минералов наиболее широко распространены пирит, проявленный в нескольких модификациях: стяжения (желваки), цементирующие обломочные зерна, псевдоморфозы по растительному детриту, тонкодисперсные примазки на обломочных зернах и дисперсная вкрапленность кубических микрокристаллов в глинисто-алевритовом заполнителе песка, глобулярные скопления микрокристаллов. Первые два вида отнесены к диагенетическим, второй и третий — к эпигенетическим образованиям. Марказит редок.

В подзоне гидроокисного ожелезнения (на границе с зоной оруденения) встречается радийсодержащий барит (радиобарит).

Качественные и геотехнические особенности оруденения. Урановые руды района, как и на месторождениях Чу-Сарысуйской провинции, силикатные. Нерастворимая в сернокислой среде кремнисто-кварцевая составляющая варьирует в пределах 55—74% (в среднем 65%). Труднорастворимые минералы (полевые шпаты, слюды, минералы глин, органическое вещество) в среднем составляют 33,6%, растворимые (карбонаты, сульфиды, гидроокислы железа, настуран, коффинит) — лишь 0,85%.

Все песчаные руды отнесены к одному литолого-фильтрационному типу — с коэффициентом фильтрации от 1 до 6,8 м/сут. Среднее по месторождению содержание суммы глинистых и алевритовых фракций 15%.

Неблагоприятным применительно к способу подземного выщелачивания выглядит геологический разрез рудовмещающего горизонта, представленный преимущественно песчаными отложениями при отсутствии выдержанных глинистых водоупоров. Очевидно, что при отработке месторождения способом ПВ должны быть максимально использованы все маломощные линзы и пропластки глин, развитые в толще песков, в целях локализации путей движения рабочих растворов.

В качестве незначительных по содержанию примесей, осложняющих извлечение урана и рения способом ПВ, должны быть

отмечены (%): $\text{C}_{\text{орг}}$ — от 0,037 до 0,23; карбонатность — CO_2 — от 0,06 до 0,32 (руды практически бескарбонатные); железо валовое — от 0,54 до 2,54; пятиоксид фосфора — от 0,01 до 0,05. Как видим, эти концентрации «вредных» компонентов не могут существенно повлиять на эффективность применения метода ПВ.

В северной части месторождения (залежь 26) проведены два натуральных опыта по подземному выщелачиванию: одно- и двухскважинный. Первый опыт был проведен с целью получить качественную характеристику извлечения урана и сопутствующих компонентов в сернокислый раствор (с концентрацией кислоты в закаченных растворах 20—26 г/л). Установлено интенсивное извлечение в раствор (мг/л): урана — до 700, рения — до 0,2, скандия — до 30, суммы редкоземельных элементов — до 40. Через 10—12 сут самоизлива концентрации указанных компонентов снизились до величины чувствительности анализов, и выпуск был остановлен. Удельная кислотоемкость составила 63 кг кислоты на извлечение 1 кг урана.

Двухскважинный опыт проведен для изучения гидродинамики в условиях пятикратного дебаланса: объем закаченных сернокислотных растворов составил 2,5 м³/ч, по откачной (выпускной) скважине — 12,5 м³/ч. Расчетная концентрация урана достигла 125 мг/л при pH 3—4, удельная кислотоемкость составила 27 кг/кг.

Удовлетворительные результаты натуральных опытов были успешно подтверждены лабораторными испытаниями в сернокислотном и карбонатном вариантах, показавшими высокую степень извлекаемости урана и рения при незначительном расходе реагентов (в обоих вариантах).

Таким образом, Сулукчинское месторождение оценивается как промышленное. Оно отнесено к резервным в основном из-за отсутствия в данном регионе инфраструктуры урановой промышленности в условиях необычайно высокой конкурентоспособности месторождений Чу-Сарысуйской урановорудной провинции.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЧЕРТЫ И УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА

Изложенный материал позволяет выделить следующие основные особенности размещения и условия образования пластово-инфильтрационных месторождений:

1. Определяющим рудоконтролирующим фактором эпигенетических пластово-инфильтрационных месторождений являются региональные зоны пластового окисления, генерирующие урановое оруденение. Связь эпигенетического оруденения с границами ЗПО рассматривается в качестве «сквозного» критерия рудоносности, действующего на всех стадиях геологоразведочных работ.

2. Урановое оруденение месторождений региональных ЗПО многоярусное, что отмечено еще на рубеже 50—60-х гг. Е. М. Шмариовичем.

В Казахстане развитие региональных ЗПО и связанного с ним промышленного уранового оруденения наблюдается, по крайней мере, в семи выделенных горизонтах (надгоризонтах): K_2t_1 (мынкудукском), K_2t_2-st (инкудукском), $K_2km-Pg_1^1$ (жалпакском), Pg_1^2 (уванасском-канжуганском), Pg_1^2 (уюкском), Pg_2^2 (иканском), P_2^{2-3} (интымакском-чеганском). Если же учесть, что в указанных подразделениях выделяются рудоносные ритмы и подгоризонты, то общее число рудовмещающих стратиграфических уровней заметно возрастет. Таким образом, стратиграфический контроль рассматриваемых месторождений отсутствует. Вместе с тем, по существу, все установленные месторождения данного типа локализируются в определенном — среднеальпийском, мел-палеогеновом структурно-формационном комплексе, в составе которого широко проявлены осадочные формации, отвечающие следующим основным условиям: а) в их составе значительное место принадлежит сероцветным высокопроницаемым отложениям с достаточно высокими восстановительными свойствами; б) они характеризуются раскрытыми гидрогеологическими структурами с активной областью питания со стороны гидрогеологических массивов. К таким формациям прежде всего относятся континентальная пестроцветная глинисто-гравийно-песчаная и прибрежно-морская сероцветная глинисто-песчаная. Иными словами, месторождения региональных ЗПО подчиняются формационному контролю (понятие введено Г. В. Грушевым).

3. Региональный геотектонический контроль оруденения. Еще в 60-е гг. Е. А. Головин и Е. М. Шмариович в ходе исследований в Центральных Кызылкумах пришли к выводу о связи месторождений ЗПО с молодыми «суборогенными областями», характеризующимися умеренным уровнем сводового-глыбового развития [11, 55]. Несколько позднее Г. В. Грушевой обосновал положение о том, что процессы формирования месторождений данной формации неразрывно связаны с развитием Тянь-Шаньской орогенной области [13].

Долгое время считалось, что рудообразующие ЗПО развиваются от позднеплиоценово-четвертичных горстово-глыбовых поднятий. Однако было установлено, что близмеридионально ориентированные региональные фронты ЗПО не только «разрываются» позднеорогенными поднятиями, но и не отвечают ни близширотному направлению главных хребтов Тянь-Шаня, ни северо-западному, «каратаускому», направлению его отрогов. На основании этих фактов Н. Н. Петровым [37] был сделан вывод, что геотектоническая позиция урановорудных провинций и районов в главный период рудообразования определялась их расположением в

краевой части молодой активизированной плиты на сочленении с относительно крупными суборогенными поднятиями.

Данные о расположении рудоконтролирующих фронтов ЗПО позволяют однозначно утверждать, что они формировались главным образом в суборогенный позднеолигоценно-миоценовый этап, когда области питания кислородных вод были представлены системой окружающих поднятий, включающих не только средне- и низогорные в то время сооружения Тянь-Шаня, но и суборогенные возвышенности краевой части Казахского щита.

По отношению к позднеорогенной (позднеплиоценно-четвертичной) тектонической зональности рассмотренные рудные районы и месторождения занимают различное положение. Одни расположены в прибортовых частях орогенных впадин (Сулукчинское месторождение), другие — в обрамлении или в зоне активного влияния суборогенных поднятий (месторождения Карамурунско-го, Кызылколь-Чаянского, Канжуганского районов), третьи — в тектонически стабильных платформенных участках плиты (месторождения Уванас, Мынкудук, Жалпак).

Таким образом, позднеорогенная (современная) геотектоническая зональность по отношению к региональной окислительной является более молодой, наложенной.

4. Структурно-тектонический контроль уранового оруденения носит, как правило, опосредованный характер. Его воздействие на размещение оруденения осуществляется через последовательный ряд других факторов: конседиментационные структуры → фациально-литологический фактор → гидродинамика и гидрогеохимия подземных вод → ЗПО → оруденение.

Содержание приведенного ряда заключается в следующем. Конседиментационными пликтивными и блоково-разрывными структурами контролируются фациально-палеогеографические обстановки на стадиях син- и диагенеза, а значит, и распределение литологических типов пород, в частности водопроницаемых и водоупорных, обладающих относительно высокой и низкой восстановительной способностью, и т. д. Особенности сформировавшихся типов фациально-литологических зон и геологических разрезов определяются основными чертами гидродинамики водоносных горизонтов, контролирующих, в свою очередь, развитие эпигенетических процессов, в том числе и тех, которые формируют рудоконтролирующие ЗПО и оруденение на их выклинивании.

Роль и характер структурно-тектонического контроля в суборогенных областях, где влияние на размещение оруденения блоково-разрывной тектоники существенно возрастает, изучались в Канжуганском, Карамурунском и Кызылколь-Чаянском районах Восточно-Туранской мегапровинции, а также на Сулукчинском месторождении в Южной Джунгарии.

Имеются и другие точки зрения на характер тектонического контроля оруденения. Основываясь на случаях приуроченности относительно богатых участков рудных залежей к зонам разрыв-

ных нарушений, Х. Б. Аубакиров с разрывной тектоникой связывает проникновение из домезозойских образований в проницаемые горизонты палеогена ураноносных сероводородных растворов на месторождениях Канжуган и Моинкум. При этом обращается внимание на широкое развитие в этих местах песчаных слоев, насыщенных окатышами и обрывками глин, которые рассматриваются в качестве тектонической брекчии, на повышение содержания сульфидов железа. Определенные зоны эпигенетической зональности трактуются как зоны термальной аргиллизации, карбонизации, каолинизации. По разрывным нарушениям на участках поднятий, по мнению Х. Б. Аубакирова, происходит также проникновение из домезозойских пород в отложения чехла кислородных растворов, формировавших «оторванные» от основного фронта ЗПО локальные проявления окисления («пузыри») и контролируемые ими рудные залежи.

По месторождениям юго-западного обрамления хр. Большой Каратау близкие представления высказывались Т. Я. Деминой и Г. В. Тарабориным [48].

5. Роль фациального фактора в размещении оруденения оценивается неоднозначно, поскольку оно является эпигенетическим. Действительно, по своей фациально-палеогеографической принадлежности месторождения региональных ЗПО занимают неодинаковое положение. Среди них могут быть выделены месторождения, локализованные в отложениях озерно-аллювиальной равнины (Уванас, Жалпак, Мынкудук, Карамурун, Сулукесинское и др.); в надводно- и подводно-дельтовых осадках (Канжуган, Моинкум, частично Заречное); в волноприбойных прибрежно-морских образованиях (Кызылколь, Чаян, Лунное, частично Заречное) и другие. Отсюда возникло положение об «афациальности» уранового оруденения зон пластового окисления. Вместе с тем в фациальных поясах размещение оруденения контролируется только теми участками региональных фронтов ЗПО, где имеются благоприятные для эпигенетического рудообразования литогеохимические типы пород. Иными словами, фациально-палеогеографический контроль во всех случаях может быть проявлен только опосредованно — через литолого-геохимические особенности рудовмещающих горизонтов.

6. Одним из важнейших в локализации оруденения является литолого-геохимический фактор. Для рассматриваемого региона характерна практически повсеместная приуроченность месторождений к сероцветным песчаным породам, восстановительная способность которых определяется количеством, качеством и формой распределения углефицированного растительного вещества, а также других синдиagenетических восстановителей — дисульфидов железа, слоистых силикатов, сидерита, анкерита (сероцветный литогеохимический тип). К особенностям рудовмещающих мел-палеогеновых горизонтов Южного и Юго-Восточного Казахстана

относится в целом невысокий уровень содержания $C_{орг}$ в песчаных и гравийно-песчаных породах, редко превышающий 0,03—0,05%. Только в дельтовых, прибрежно-морских, подводно-дельтовых отложениях содержание $C_{орг}$ выше — до 0,1—0,2%, иногда более. В этих отложениях содержание урана в среднем более высокое по сравнению с месторождениями, локализованными в горизонтах континентальной пестроцветной формации.

Известно, правда, немало случаев, когда относительно богатое оруденение размещается в проницаемых отложениях зеленоцветного типа, однако тогда вблизи рудовмещающего горизонта почти всегда обнаруживаются сероцветные породы, определяющие специфику геохимической среды на данном участке рудного поля.

Итак, решающую роль в формировании урановорудных месторождений играет рассеянное углефицированное растительное вещество. Исключительные по своему размаху и мощи процессы эпигенетического уранового рудогенеза, по существу, целиком обеспечивались за счет энергетического потенциала самих рудовмещающих отложений, накопленного в платформенных условиях на этапе их формирования. Постседиментационные восстановительные изменения и эпигенетические восстановители в породах рассматриваемого региона проявлены локально и в образовании месторождений зон пластового окисления могли играть лишь вспомогательную роль.

В последнее время большое значение придается еще одному виду литологического контроля, а именно зависимости масштабов и морфологии оруденения от соотношения в разрезе рудовмещающих и водоупорных слоев. По данным американских геологов, наиболее благоприятными считаются разрезы, содержащие 60—80% проницаемых песчаников, менее благоприятны разрезы, где песчаники составляют 40—60%, прочие случаи отнесены к неблагоприятным [43].

Анализ обстановок на месторождениях Казахстана также показывает, что для формирования высокопродуктивного эпигенетического оруденения благоприятно существенное (двукратное и более) преобладание проницаемых пород над глинистыми. К неблагоприятным факторам следует отнести малую мощность проницаемых горизонтов (первые метры и меньше), значительное преобладание водоупорных прослоев над проницаемыми, их частое переслаивание в разрезе, а также бессистемное расположение в горизонтах.

7. Специфика рудоконтролирующей эпигенетической зональности на рассматриваемых месторождениях Казахстана тесно связана с литолого-геохимическими особенностями рудовмещающих горизонтов, их вещественным составом и энергетическим потенциалом, накопленным на стадиях литогенеза. В целом незначительное содержание $C_{орг}$, валового железа и сульфидной серы при одновременно высокой проницаемости отложений (особенно в Чу-Са-

рысуйской УРП) обусловили недостаточно контрастный восстановительный барьер, своеобразный, необычно «растянутый» профиль эпигенетической зональности с нечеткими границами между отдельными зонами и подзонами. Следствием указанных особенностей явились такие важные в практическом отношении показатели месторождений, как уникальные мощности уранового оруденения, его высокая технологичность (применительно к способу ПВ), определенный состав и характер распределения компонентов.

Рудные районы в Восточно-Туранской мегапровинции в зависимости от их расположения в той или иной ее части, а также от типов и состава геологических формаций в области сноса обломочного материала и питания водоносных горизонтов характеризуются региональными изменениями рудной и геохимической специализации по распространению региональных факторов ЗПО, различием состава рудных компонентов и минеральных ассоциаций на эпигенетических месторождениях.

Наиболее отчетливо эти изменения просматриваются по простираннию металлогенической мегазоны, контролируемой фронтами ЗПО в проницаемом горизонте верхнего мела. В Кенце-Буденновской зоне распространены монометалльные урановые месторождения, для которых характерны, как правило, забалансовые рудные концентрации селена и на отдельных месторождениях и участках — практически ценные примеси рения. Расположенному в средней части мегапровинции Карамурунскому району свойственны месторождения, в которых наряду с урановым оруденением развиты промышленные селеновые руды (месторождение Северный Карамурун характеризуется близкими масштабами уранового и селенового оруденения). Южнее, на месторождениях Карактауского района, резко возрастает роль ванадия, концентрация которого на месторождении Жауткан достигает промышленных масштабов.

Оруденение Сулучекинского района относится к рениево-селено-урановой ассоциации.

8. Оценивая роль структурно-гидрогеологического и гидрогеохимического факторов, прежде всего следует отметить, что современные (позднеплиоценово-четвертичные) гидродинамическая и гидрогеохимическая зональности по отношению к рудоконтролирующей эпигенетической более поздние, наложенные. При общей унаследованной направленности гидрогеологических процессов (на уровне структур первого порядка) в течение неотектонической истории региона происходило значительное усложнение и изменение структурно-гидрогеологических планов артезианских бассейнов в позднеорогенную стадию развития. На одних участках это привело к интенсификации процесса развития ЗПО и к перетолжению ранее сформированного оруденения, на других вызвало замедление или полное прекращение процессов рудоотложения и «захоронение» оруденения во вновь образовавшихся зонах эпигенетического восстановления.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗПО

Происхождение эпигенетических месторождений урана в настоящее время большинство исследователей связывают с развитием региональных ЗПО и накоплением полезных компонентов на восстановительном геохимическом барьере — сульфидном или глеевом [34, 35]. Сторонников пластово-инфильтрационного происхождения разделяют в основном различные взгляды на возраст и тектонический режим основных этапов рудообразования.

Длительное время господствовали представления о позднеплиоценово-четвертичном возрасте главного этапа рудообразования [11, 55], хотя и прежде высказывались мнения о более раннем происхождении ЗПО и связанного с ними оруденения.

К настоящему времени получено довольно много данных, указывающих на допозднеплиоценовый возраст региональных ЗПО и оруденения. К ним относятся многочисленные факты несоответствия эпигенетической рудоконтролирующей и позднеорогенной неотектонической зональности; немотивированность конфигурации региональных фронтов ЗПО современными очертаниями областей питания и инфильтрации подземных вод артезианских бассейнов; установленные случаи наложения молодой окислительной зональности на более древнюю, местами с резким изменением генерального направления фронтов ЗПО (см. рис. 2); известные факты несовпадения рудоконтролирующей эпигенетической зональности и позднеплиоценово-четвертичной гидрогеохимической зональности; наблюдаемая в отдельных районах зональная смена веществ — геохимического облика ЗПО (осветление — красноцветная зона — желтоцветная зона), которая может интерпретироваться как результат поэтапного развития окислительных пластовых процессов; отсутствие или непромышленные параметры оруденения на границах ЗПО, целиком сформировавшихся в позднеплиоценово-четвертичное время. Эти и другие признаки относительной древности месторождений подтверждаются результатами свинцово-изотопных исследований (1850 анализов). Несмотря на то, что исследования проводились в условиях гидравлически открытых систем и с применением спектральных методов изотопного анализа, которые, по мнению специалистов, не обеспечивают необходимой точности измерений, полученные результаты достаточно хорошо увязываются между собой и с данными геологической интерпретации возраста [28].

Начало формирования региональных ЗПО в Чу-Сарысуйской и Сырдарьинской УРП следует связывать с позднеолигоценной — «бактыкарынской» — фазой тектогенеза, которая проявилась в конце продолжительного (7—9 млн лет) перерыва в осадконакоплении. Для этого времени характерны умеренно аридные климатические условия, активная аллювиальная деятельность в палео-Тянь-Шаньской области, максимальные по площади области

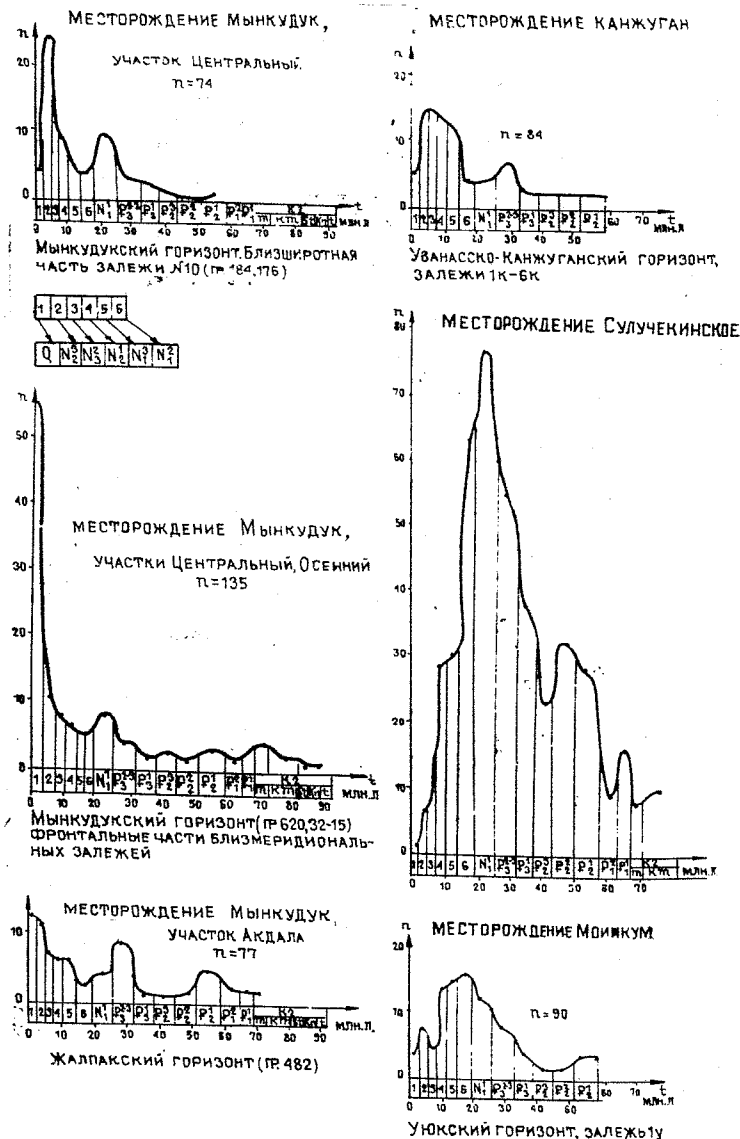


Рис. 37. Полиэтапность процессов рудообразования на эпигенетических урановых месторождениях региональных ЗПО по данным свинцово-изотопных исследований

питания и инфильтрации подземных вод. После кратковременного замедления зоны пластового окисления продолжали развиваться в миоцене, что нашло свое выражение и на кривых возраста по данным свинцово-изотопных исследований (рис. 37). Графики либо характеризуются единым «растянутым» позднеолигоценно-миоценовым максимумом (месторождения Моинкум, Сулучекинское), либо образуют незначительный, но отчетливый максимум, соответствующий позднему олигоцену (месторождения Канжуган, Акдала).

Следующий, средне-позднемиоценовый, период эпигенетического рудообразования связывается с «торгайской» и «павлодарской» фазами тектонической активизации. Рудообразующая роль этой эпохи подтверждается широким распространением экзодиагенетических урановых проявлений данного возраста в палеодолинах Казахского щита (Курай, Арап, Гранитное, Талас и др.) и синдиагенетических в Чу-Сарысуйской депрессии (Ассинское, Кумузек и др.). В это время относительно благоприятной выглядит обстановка в западном, бетпак-далинском, борту Чу-Сарысуйской депрессии, где в среднем миоцене оживляется аллювиальная деятельность и, возможно, происходит интенсивный инфильтрационный сток ураноносных вод. Геохронологические графики с максимумами, отвечающими позднему олигоцену — миоцену, во всех случаях относятся к рудным залежам, расположенным вне зоны активного влияния современных потоков кислородсодержащих пластовых вод.

Вследствие сближенности во времени и отсутствия надежных критериев разделения выделенные в позднем олигоцене и миоцене периоды уранонакопления объединяются в единый позднеолигоценно-миоценовый этап эпигенетического рудообразования, которому отводится главная роль в формировании оруденения. Его отличительные черты — значительная продолжительность (не менее 15—20 млн лет), умеренный, суборогенный, тектонический режим в областях окружающих поднятий, умеренно интенсивный характер гидродинамики артезианских бассейнов, накопление красноватых осадочных формаций.

Позднеплиоценово-четвертичный этап рудообразования связан с собственно орогенным периодом неотектогенеза, который характеризуется высокоамплитудными блоково-глыбовыми поднятиями в орогенной Тянь-Шаньской области, общим слабодифференцированным возмущением Казахского щита, резкой интенсификацией гидродинамического режима, накоплением в основном палеоцветных осадочных формаций. Кратковременность проявления данного этапа (не более 2,7 млн лет) не позволяет предполагать существенного дополнительного привноса и накопления урана, зато однозначно устанавливается проявление интенсивных процессов перераспределения рудных залежей, расположенных на направлениях основных гидродинамических потоков, что нашло свое

отражение на графиках возраста по данным свинцово-изотопных исследований. Отмечаются два типа максимумов, отвечающих молодому этапу рудообразования в Чу-Сарысуйской УРП: для первого типа модальное значение возраста соответствует позднему плиоцену, а для второго — четвертичному времени. Установлено, что второй тип максимумов во всех случаях характеризует результаты опробования залежей, расположенных в зонах прямого воздействия современных гидродинамических потоков (см. рис. 37 — месторождение Мынкудук, участок Осенний).

Таким образом, формирование месторождений региональных ЗПО следует рассматривать как многоактный прерывистый однонаправленный процесс, в котором выделяется ряд благоприятных для экзогенного рудообразования периодов, соответствующих эпохам тектонической активизации и аридизации климата и отвечающих этапам инфильтрационного развития артезианских бассейнов. Эти периоды объединяются в два этапа: позднеолигоценно-миоценовый (основной этап эпигенетического рудонакопления) и позднелигоценно-четвертичный (этап перетолжения оруденения и оформления современного облика месторождений).

**ЭПИГЕНЕТИЧЕСКАЯ УРАНОВОРУДНАЯ ФОРМАЦИЯ ЗОН
ГРУНТОВОГО И ГРУНТОВО-ПЛАСТОВОГО ОКИСЛЕНИЯ
В УГЛЕНОСНЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ
(СУБФОРМАЦИЯ УРАНОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ)**

Илийская урановорудная провинция

Илийская урановорудная провинция — рудоносная территория, охватывающая в Юго-Восточном Казахстане две крупные депрессионные структуры — Илийскую и Балхашскую впадины, сформировавшиеся в мезозойско-кайнозойский этап развития. Рудоносность провинции установлена в результате открытия Кольджатского и Нижнеилийского ураноугольных, а также ряда других урановых месторождений в рыхлом чехле. При ее выделении учитывалось, что Илийский угленосный бассейн прослеживается на территорию соседнего Китая, где на продолжении Кольджатской рудоносной зоны располагаются ураноугольные месторождения Мынчукур и Талды. Существенная часть запасов урана на месторождении Кольджат сосредоточена в водоносных пластах песчаников, в рудных залежах, образованных на выклинивании зон пластового окисления. Урановое оруденение песчаникового типа наряду с ураноугольным установлено также на продолжении угленосной юрской полосы на территории КНР (месторождения Кутертан, Джагистай).

Помимо ураноугольных и песчаниковых месторождений в юрских угленосных отложениях, составляющих основу провинции, в ее пределах, как было показано выше, выявлены пластово-инфильтрационные месторождения урана в мел-палеоценовых

песках (промышленное Сулуктинское месторождение) и нескольких неперомышленных месторождений (Актау, Калканское) и несколько рудопроявлений.

Ураноугольные месторождения в Илийской урановорудной провинции связаны с ранне-среднеюрскими континентальными угленосными отложениями, которые выявлены лишь в юго-восточной части Илийской и северо-западной части Балхашской впадин.

Угленосные отложения Илийской впадины сформировались в суборогенных условиях и в ее восточной части выполняют крупную унаследованную впадину в палеозойском фундаменте — Джаркентский прогиб. В Казахстане он прослежен на 20—30 км по простиранию и около 30 км — по падению, образуя западное замыкание угленосной структуры, основная часть которой находится на сопредельной территории Китая. Отложения позднего триаса в южной прибортовой части Илийской впадины здесь выходят на дневную поверхность. Залегающие на них юрские отложения перекрыты плащом подгорно-верных четвертичных образований. Угленосные отложения погружаются на север под углами 5—7° и вскрываются в осевой части впадины на глубинах до 1500 м, далее к северу они погружаются на еще большие глубины (северная граница распространения их не установлена). Мощность триасовых отложений в осевой части впадины достигает 300 м, юрских — 500 м. С угленосными отложениями Джаркентского прогиба связан Илийский угленосный бассейн, а с его краевой южной и юго-западной частями — Кольджатское ураноугольное месторождение.

Угленосные отложения в северо-западной части Балхашской впадины концентрировались в наложенных локальных депрессионных линейных структурах грабен-синклинального типа, приуроченных к узлам пересечения долгоживущей системы северо-западных глубинных разломов, параллельных Джалаир-Найманской и Сарытумской зонам, с близширотными разломами. В зонах пересечения разломов породы фундамента разделены на поднятые и опущенные блоки протяженностью десятки и шириной первые десятки километров; в опущенных блоках и сформировались юрские угленосные отложения.

Выявлены три относительно крупные депрессионные структуры с юрскими угленосными отложениями: Нижнеилийская, Жиделинская и Орта-Баканасская — с общей площадью распространения около 5 тыс. км². Глубина до кровли юрских отложений 125—260 м. С угленосными образованиями данного района связан Нижнеилийский бурогольный бассейн с ресурсами угля 20—24 млрд т. Промышленное урановое оруденение установлено лишь в Нижнеилийском прогибе.

Урановые месторождения песчаникового типа — Сулучекинское, Калканское и Актау, как было показано, связаны с древне-

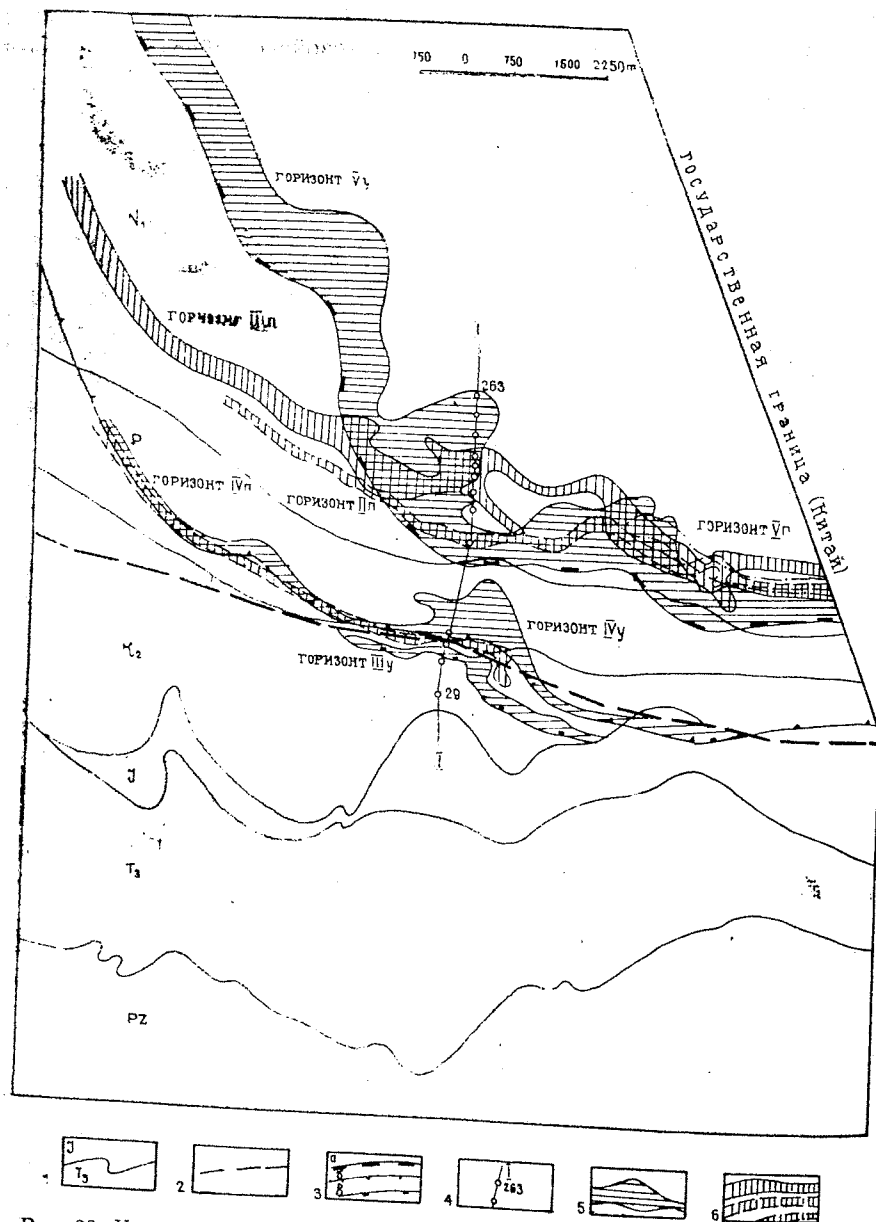


Рис. 38. Ураноугольное месторождение Кольджат: 1 — выходы мезозойских и раннекайнозойских отложений под четвертичные; 2 — разрывные нарушения; 3 — линии выклинивания угольных пластов: а—V, б—IV, в—III циклов; 4 — линия геологического разреза, скважины и их номера; 5 — проекция урановорудных зон в угольных пластах; 6 — проекция урановорудных зон в песчано-конгломератовых горизонтах

илийским (кампан — палеоцен?) горизонтом песков, широко распространенным в Илийской впадине. Выявление новых площадей развития сероцветных отложений данного возраста, контролирующих урановое оруденение, возможно в осевой и северной прибортовой частях впадины на глубинах свыше 700 м.

Отложения рыхлого чехла других возрастов в Илийской и Балхашской впадинах ввиду особенностей их формирования неперспективны для уранонакопления.

Кольджатское месторождение

Кольджатское ураноугольное месторождение расположено в юго-восточном борту Илийской межгорной впадины и приурочено к южной и юго-западной краевым частям ранне-среднеюрского Илийского угленосного бассейна (рис. 38).

Открытие Илийского угленосного бассейна в Казахстане связано с бурением структурно-поисковых скважин на нефть, осуществлявшимся Южно-Казахстанским территориальным геологическим управлением. В 1957 г. скважиной 3 г, пробуренной Южной группой нефтеразведки, в осевой части Илийской впадины вблизи госграницы на глубинах 1450—1975 м были вскрыты юрские угленосные отложения, вмещающие семь пластов бурых углей с рабочей мощностью. В 1959—1960 гг. буровые работы были проведены в южном борту впадины в целях поисков угольных пластов на меньших глубинах (пробурено 13 скважин общим объемом 5150 м). В результате на глубинах до 500 м были вскрыты два угольных пласта с содержанием урана до 0,048—0,098% в углях и вмещающих песчаниках, предварительно оценены масштабы угле- и ураноносности, сделан вывод об их возможном промышленном характере. Для проведения специализированных на уран поисково-оценочных работ объект в 1960 г. был передан Волковской экспедиции, которой в 1960—1961 гг. были осуществлены поисково-оценочные работы и в 1962—1964 гг. — предварительная разведка. В результате объект определен как крупное комплексное месторождение.

В 1969—1978 гг. на месторождении до глубины 600 м была выполнена детальная разведка с применением больших объемов буровых и горных работ: пробурены 2434 скважины (1012 тыс. м), пройдены ствол шахты (глубиной 342 м) и подземные горизонтальные выработки (729 м). Месторождение определено как комплексное молибден-ураноугольное. Промышленная угленосность в его пределах связана с двумя угольными пластами, урановые руды — с четырьмя горизонтами вмещающих терригенных пород. Запасы угля, урана и молибдена утверждены в ГКЗ; месторождение подготовлено для промышленного освоения под подземный способ отработки.

Геологическое строение. В Кольджатском месторождении ме-

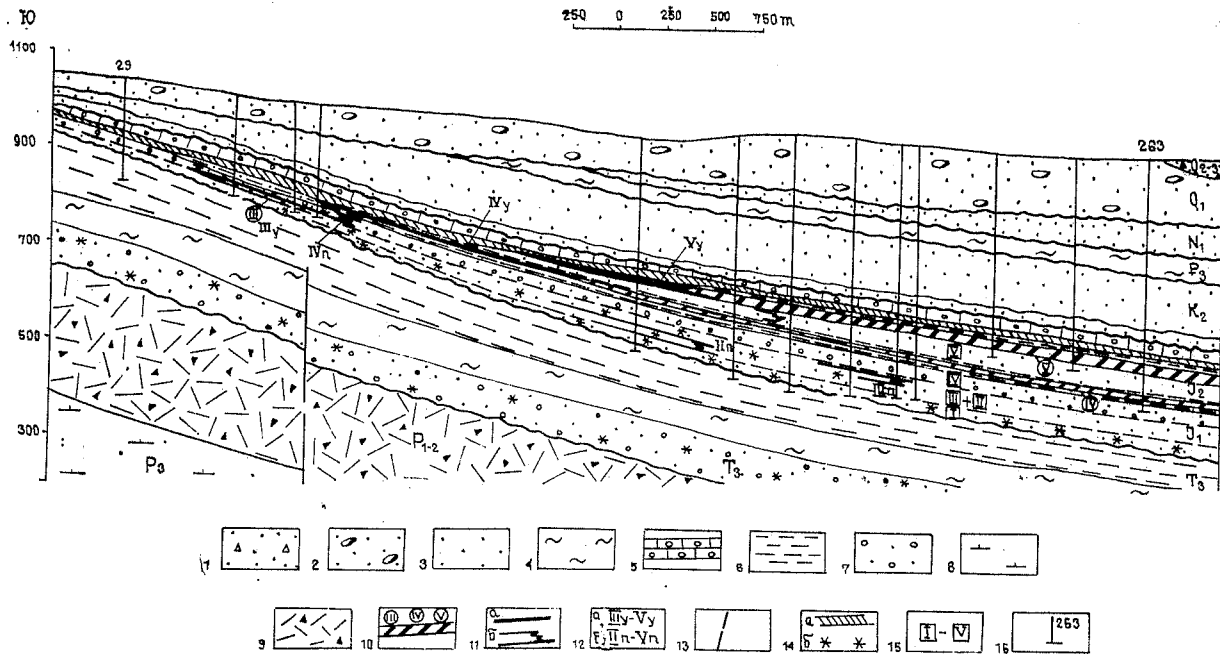


Рис. 39. Урановорудные залежи месторождения Кольджат в поперечном разрезе: 1 — галечники, щебни, суглинки, супеси; 2 — валунно-галечные отложения; 3 — песчаники и пески разномзернистые; 4 — глины, аргиллиты; 5 — конгломераты с карбонатно-глинистым цементом; 6 — алевриты; 7 — конгломераты, гравелиты с глинисто-песчаным цементом; 8 — андезитовые и диабазовые порфиры и их туфы; 9 — туфы разного состава; 10 — пласты бурых углей; 11 — урановые залежи в угольных пластах (а) и в песчано-конгломератных породах (б); 12 — индексы ураноносных горизонтов в угольных пластах (а) и в песчано-конгломератных породах (б); 13 — разрывно-флексурные нарушения; 14 — зоны окисления: а — грунтовые, красноцветные, б — пластовые желто-бурые; 15 — циклы осадконакопления; 16 — буровые скважины и их номера

зозойско-кайнозойский комплекс терригенных отложений мощностью до 1000 м выполняет унаследованную впадину, несогласно залегая на корях выветривания верхнепалеозойских осадочно-вулканогенных пород среднего и кислого состава (рис. 39).

В основании мезозойского разреза залегают относимые к кольджатской свите отложения позднего триаса, обнажающиеся в южном борту впадины и погружающиеся в северной части месторождения на глубины 700—1000 м. Нижняя часть свиты на всей площади представлена горизонтом конгломератов с прослоями песчаников мощностью 65—85 м. Горизонт согласно перекрывается толщей тонкопереслаивающихся сероцветных песчаников, алевролитов, аргиллитов мощностью 180—210 м.

Ранне-среднеюрские угленосные отложения залегают на размытой поверхности толщи позднего триаса. Они прослежены по всей площади месторождения на протяжении 16 км по простиранию, которое изменяется в западной части с широтного на северо-западное, полого падают на север под углами 5—7°. Глубина залегания их в южной части месторождения 25—450 м, в северной 550—700 м. Угленосная толща сложена первично-сероцветными терригенными речными, озерными и болотными отложениями, вмещающими пласты бурых углей или углистых алевритов. Мощность отложений в южной части месторождения 50—100 м, в северной до 180—220 м.

Для угленосной толщи характерно циклическое строение, выделено пять циклов осадконакопления (снизу вверх с I по V). В основании каждого цикла залегают конгломераты, сменяющиеся вверх по разрезу гравелитами, разнозернистыми песчаниками, затем алевропесчаниками, алевролитами и аргиллитами, вмещающими пласты бурых углей или углистых алевролитов. При общем близком характере строения циклов отмечается и значительная фациальная изменчивость отложений. Мощность отдельных циклов уменьшается на юг и юго-запад, что связано как с внутриформационными размывами, увеличивающимися к южному борту угленосного бассейна, так и с фациальным выклиниванием отдельных пачек и слоев разреза.

Мощность отложений I цикла 20—25 м. Цикл венчается пластом серых алевролитов мощностью 1—2,5 м; развит на всей площади месторождения.

Мощность II цикла 15—17 м. Он заканчивается линзообразным горизонтом слоистых, иногда углистых алевролитов (до 0,5—3 м). В южной краевой части месторождения алевролиты полностью срезаются вышележащими конгломератами III цикла.

Отложения III цикла мощностью 25—65 м представляют собой наиболее изменчивую и сложнопостроенную в фациально-литологическом отношении толщу, заканчивающуюся пластом бурых углей (0,5—1,5 м). Для угольного пласта характерна четковидно-

линзообразная форма распространения в связи с частым размывом его конгломератами IV цикла.

Мощность отложений IV цикла 25—35 м. Венчающая разрез цикла пачка алевролитов в своей средней части содержит выдержанный пласт бурых углей мощностью 2,5—3 м, повсеместно распространенный на месторождении.

Отложения названных циклов имеют общую мощность около 150 м и залегают друг на друге с размывом без видимых угловых несогласий. Они выделены в раннеюрскую каирлыганскую свиту.

Среднеюрские отложения V цикла, слагающие жаркентскую свиту, залегают с размывом и небольшим угловым несогласием на образованиях каирлыганской свиты, имеют мощность 40—120 м. В северной половине месторождения они вмещают в верхней части цикла угольный пласт мощностью 15—23 м, который генетически выклинивается на юг.

Эпигенетически неокисленные угленосные отложения имеют типичный для угленосной формации серый и темно-серый цвет, насыщены углефицированным растительным детритом и обломками углей, содержат вкрапленность, конкреции и желваки сульфидов железа. При последующем воздействии грунтовых и пластовых кислородсодержащих вод угленосные отложения подвергались интенсивным эпигенетическим изменениям, приведшим к окислению органического материала, сульфидов железа и железосодержащих минералов с широким развитием гидроокислов железа, придающих породам пестроцветную, красную и желто-бурю окраску. Изменения сопровождались интенсивной карбонатизацией.

Угленосные отложения на месторождении повсеместно перекрываются с размывом и четко выраженным угловым несогласием позднемеловыми образованиями, которые разделяются на два резко различных по фациальным и литогенетическими признакам горизонта. Нижний мощностью 30—50 м сложен красно-бурыми конгломератами, гравелитами и разнозернистыми несортированными песчаниками на карбонатно-глинистом цементе. Площадь его распространения совпадает с контуром развития угленосных отложений; к позднемеловому возрасту отнесен условно*. Отложения верхнего, древнеилийского, горизонта мощностью 120—200 м и более широко распространены в Илийской впадине и представлены разнозернистыми аллювиальными и озерными песчаниками с прослоями и линзами алевролитов светлых, желтых и бурых тонов окраски.

В составе кайнозойской толщи выделяются отложения олигоцена, миоцена, плиоцена и антропогена.

* По другим представлениям нижний горизонт имеет раннемеловой возраст. — Ред.

Образования олигоцена — миоцена развиты только в северной части месторождения и представлены толщей массивных слабокарбонатных красно-бурых глин мощностью 30—35 м.

Средне-позднеплиоценовые отложения илийской свиты распространены также лишь в северной части месторождения, где они представлены палевыми песчаниками с прослоями и линзами алевролитов. Их мощность 140 м; к югу они постепенно «срезаются» позднеплиоценово-четвертичными грубообломочными образованиями. Мощность последних в южной части месторождения 30—50 м, в северной увеличивается до 140—270 м.

Тектоническое строение месторождения простое. Мезозойско-кайнозойский комплекс пород образует в целом пологую моноклинали, имеющую падение под углами 3—7° на север, к осевой части Илийской впадины (см. рис. 39). Лишь в крайней юго-западной части месторождения установлен субширотный флексурный перегиб с амплитудой около 15 м, проявленный в отложениях триаса, юры и, возможно, мела и переходящий к востоку в разлом с амплитудой до 60 м. Ширина флексурного перегиба в плане менее 25 м.

Угленосность. Промышленная угленосность на месторождении связана с двумя угольными пластами — IV и V, залегающими в верхних частях разреза соответствующих циклов осадконакопления.

Пласт V распространен в центральной и северной частях месторождения на площади 32,3 км²; прослежен по простираанию от государственной границы на 7 км и по падению около 5 км. Глубина залегания его колеблется от 300 м вблизи линии выклинивания до 600 м в северной части месторождения. Еще севернее, за пределами месторождения, он вскрыт скважинами на глубинах до 900 м и более.

В северной части месторождения пласт имеет простое строение, стабильную мощность 20—23 м, относится к группе выдержанных; породные прослои или линзы отсутствуют. В центральной и восточной частях, в полосе шириной 1—1,5 км, пласт расщепляется на два угольных пропластка. Верхний пропласток характеризуется мощностью от первых до 5—10 м; мощность нижнего в восточной части месторождения 0,9—1,05 м, а в центральной части увеличивается до 4,5—5,9 м. Максимальная мощность пород, разделяющих пласты, достигает в восточной части 12—15 м. Вдоль всей линии выклинивания, в полосе шириной от 500 до 2500 м, угольный пласт и его пропластки в кровле, значительно реже в почве подвергались (на мощность до 1—2 м) интенсивным эпигенетическим преобразованиям с формированием урановорудных залежей.

Угольный пласт V имеет пологое, очень спокойное залегание с углами падения 4—5° на север, к осевой части впадины.

Пласт IV распространен по всему месторождению на площади

62,6 км², по простиранию прослежен на 11 км и по падению (до глубины 600 м) около 7 км. К северу от границы месторождения пласт вскрыт скважинами на глубине до 900 м и более. Глубина залегания его на месторождении изменяется от 120—190 м вблизи линии выклинивания и увеличивается к северной границе месторождения до 600 м. Пласт имеет простое строение и стабильную мощность 2,5—3 м с увеличением в отдельных случаях до 5,2—5,6 м; средняя мощность 2,77 м. Породные прослои и линзы отсутствуют; пласт относится к группе выдержанных. Вдоль линии выклинивания пласта, в полосе шириной от первых десятков до первых сотен метров (максимум до 1200 м), в кровельной части проявлена интенсивная эпигенетическая минерализация на мощность до 0,5—0,7 м с образованием урановорудных залежей.

Угольный пласт IV имеет в целом пологое, очень спокойное залегание с углами падения 4—6° на север.

Угли пластов IV и V относятся к бурым — марки Б₂—Б₃. Пласт V сложен преимущественно фюзеновым типом углей с подчиненным развитием дюренового, реже кларено-дюренового типов. Указанные типы взаимно переслаиваются с постепенным переходом от одного типа к другому. Пласт IV сложен смешанными клареновым и дюрено-клареновым типами.

Угли пласта V характеризуются средней зольностью 9,77% с колебаниями по пересечениям от 6,21 до 18,39%; содержание серы общей составляет 0,91%, выход летучих — 32,28%, содержание влаги в естественном залегании — 32,0%, теплотворная способность горючей массы — 6923 ккал/кг, рабочего топлива — 4680 ккал/кг.

В составе золы основными компонентами являются оксиды кремния, кальция, алюминия, серы и магния. Содержание суммы оксидов натрия и калия в золе 1,1%.

Угли месторождения могут использоваться как энергетическое топливо на электростанциях и для коммунально-бытовых нужд.

Урановое оруденение. Кольджатское урановое месторождение относится к группе инфильтрационных эпигенетических. Урановое и молибденовое оруденение в угленосных отложениях сформировалось на восстановительном геохимическом барьере кислородными грунтовыми и пластовыми водами, приносившими уран и другие металлы многоактными процессами в эпохи аридизации климата и тектонической активизации региона. Как в угольных пластах, так и во вмещающих их песчано-конгломератовых отложениях, урановое оруденение концентрировалось в зоне геохимического барьера в углях и первично-сероцветных породах на границе с окисленными породами. Молибденовое оруденение в промышленных концентрациях развито только в контурах урановорудных тел в угольных пластах.

На месторождении выявлено и с различной степенью деталь-

ности изучено семь ураноносных горизонтов с промышленным урановым оруденением, в том числе из них (V_у, IV_у, III_у) связаны с угольными пластами трех верхних циклов осадконакопления и четыре (V_п, IV_п, III_п, II_п) — с проницаемыми песчано-конгломератовыми пачками пород верхних четырех циклов осадконакопления. Ураноносный горизонт I_п в отложениях I цикла в связи с их высокой проницаемостью развит за пределами месторождения — на глубинах свыше 600 м.

По масштабам оруденения указанные ураноносные горизонты неравноценны. Среди них выделяются два наиболее крупных, с которыми связаны основные запасы урана на месторождении: ураноносный горизонт углей V_у и песчано-конгломератовый III_п. Распределение балансовых запасов урана по ураноносным горизонтам в углях следующее (%): V_у — 50,9, IV_у — 1,9, III_у — 5,7; итого — 58,5. По ураноносным горизонтам в терригенных отложениях соответственно (%): V_п — 3,4, IV_п — 6,4, III_п — 25,6, II_п — 6,1; итого — 41,5.

На месторождении в плане выделяются две субширотно-северо-западные рудоносные зоны, отстоящие одна от другой на 2—2,5 км (см. рис. 40).

Южную рудоносную зону образуют два ураноносных угольных горизонта — III_у и IV_у — и песчано-конгломератовый горизонт IV_п. Ширина этой зоны в центральной части 1—2 км, на флангах она уменьшается до первых сотен и десятков метров, протяженность зоны 15—16 км, глубина залегания горизонтов на восточном фланге 30—50 м, в центральной части 120—300 м, на западном фланге и в центральной части 1—2 км; далее к западу горизонт V_у резко меняет направление на северо-западное и отходит от других песчано-конгломератовых горизонтов. Общая протяженность северной рудоносной зоны 15—16 км, глубина залегания рудных горизонтов в ней 300—500 м в восточной и центральной части и до 600 м на северо-западном фланге.

В угольных пластах урановое оруденение концентрируется в их краевой зоне, прилегающей к линии выклинивания пласта, располагаясь в основном в их кровле, редко в почве, на границе проницаемыми перекрывающими или подстилающими окисленными терригенными породами, создавая простые в морфологическом отношении пластообразные залежи, полого падающие на север под углами 3—7°. Протяженность залежей варьирует от 0,5 до 14,5 км. Ширина их для различных угольных пластов изменяется также очень широко — от 20—100 до 1000—2000 м и во многом определяется фациально-литологическим составом и проницаемостью перекрывающих или подстилающих отложений. Мощности рудных залежей, как правило, невелики, довольно выдержаны и изменяются от первых десятков сантиметров до 1—2 м

(редко более). Всего в связи с угольными пластами на месторождении выявлено и изучено восемь урановорудных залежей.

По морфологическим особенностям все пластообразные залежи в угольных пластах подразделяются на два типа. К первому относятся залежи с относительно ровной гипсометрией в плоскости падения угольного пласта. Эта морфология характерна для урановорудных залежей, связанных с угольными пластами небольшой и рядовой (первые метры) мощностью. К данному типу относятся все ураноугольные залежи, за исключением залежи № 5, связанной с кровлей мощного угольного пласта. Ей свойственна весьма неровная, осложненная гипсометрия, обусловленная беспорядочно чередующимися в плоскости пласта бессистемно расположенными куполо- и чашеобразными поднятиями и понижениями с амплитудами до 3—4 м и размерами в плане от первых до 40 м и более. Крутизна указанных неровностей 5—15°, иногда до 20—35°, с проявлением в этом случае разнонаправленных трещин со ступенчатыми (до 10—20 см) подвижками по ним рудных углей и пород кровли. Подобная морфология обязана неравномерному по мощности «выгоранию» (окислению) органической массы пласта под воздействием кислородсодержащих вод в процессе рудообразования. Мощность зольного бурого остатка нацело окисленных углей в кровле урановорудных залежей варьирует в широких пределах — от первых сантиметров до 0,5—0,7 м.

С локальными осложнениями морфологии, отмеченными в обоих типах залежей, связаны роллообразные формы (типа «обратного ролла») мощностью до 5—6 м, создаваемые залежами № 5 и 6 при их сочленении в зоне выклинивания мощного угольного пласта, а также резко увеличенная мощность залежей (до 3—4 м) на участках развития в кровле пласта палеорусловых врезов, выполненных высокопроницаемыми окисленными гравийными отложениями.

Ураноугольные залежи характеризуются высокой рудонасыщенностью; коэффициенты рудоносности равны единице или близки к ней. Содержание урана по пересечениям изменяется от 0,05% (минимальное балансовое) до многих десятых долей и даже до первых процентов.

Фациально-литологический состав и проницаемость перекрывающих (подстилающих) отложений, по которым развивались зоны древнего грунтового и пластового окисления, играют важную роль в распределении оруденения и в значительной степени определяют величину концентраций урана: его содержание увеличивается с ростом проницаемости этих отложений. В распределении содержаний урана по мощности залежей и в плане также наблюдаются определенные закономерности, выразившиеся в обогащении ураном висячих боков залежей, что обусловлено весьма высокой восстановительной способностью углей. Основная масса урана в них накапливалась в приконтактной с окисленными по-

родами зоне с постепенным, плавным понижением содержаний до бортового (0,03%) к почве залежей. Обогащение ураном (до 0,5—1,5%) «головы» угольных пластов наблюдается в полосе шириной от первых десятков до 100—150 м и связано с многоактностью проявившихся процессов эпигенетического окисления, которые сопровождалось выщелачиванием, переносом и переотложением ранее накопленного урана по падению пласта и привносом дополнительных его порций. Наиболее высокие концентрации урана в углях накапливались в узкой краевой зоне вдоль линии выклинивания пласта.

В песчано-конгломератовых отложениях урановое оруденение также концентрируется на геохимическом барьере в первично-сероцветных породах на границе с зонами пластового окисления. Протяженность рудных залежей самая различная — от первых сотен до 1000—1200 м, ширина от десятков до первых сотен метров. Залегание тел пологое, с падением на север под углами 4—10°. Всего на месторождении выявлено и изучено 14 рудных залежей в терригенных пластах. Мощность их варьирует от первых десятков сантиметров до 5—10 м. Максимальные мощности характерны для замковых частей роллов.

Морфология рудоносных зон и отдельных залежей исключительно сложная, так как в континентальных угленосных отложениях, весьма пестрых по фациально-литологическому составу, проницаемости и восстановительной способности, зоны развития и выклинивания пластового окисления в разрезе по вертикали и в плане расщепляются на серию самостоятельных языков прихотливых извилистых очертаний.

Выделяются три основных морфологических типа рудных залежей:

1) Залежи роллового типа шириной первые десятки метров с короткими крыльями или без них, образующиеся в зоне полного выклинивания окисления. Для мощных (8—10 м) роллов характерно чередование в разрезе слоев с балансовыми и забалансовыми содержаниями урана, вплоть до появления безрудных прослоев мощностью до 1—2 м.

2) Залежи роллово-пластообразной морфологии с весьма широкими (сотни метров) крыльями. Большая ширина крыльев обусловлена концентрацией оруденения в прослоях, обогащенных углистым детритом и имеющих, как правило, более низкую проницаемость по сравнению с горизонтом, по которому развивается окисление.

3) Залежи линзо- и пластообразной морфологии. Оруденение располагается в крыльях, часто оторванных от замковой части ролла и связанных обычно с прослоями углистых пород. Вследствие высокой восстановительной способности последних оруденение может располагаться в отрыве от границы геохимического барьера как по восстанию, так и по падению пласта.

Для урановорудных залежей в песчано-конгломератовых горизонтах характерна прерывистость оруденения по простиранию и падению залежей; коэффициенты рудоносности по площади изменяются от 0,6 до 1, в среднем 0,84.

Содержания урана колеблются от бортового (0,05% по пересечению) до 1—1,5%; их максимальные значения присущи линзам углей и терригенных отложений, интенсивно обогащенных углистым детритом.

По *вещественному составу* урановые руды Кольджатского месторождения подразделяются на два типа: ураноносные угли и силикатные песчано-конгломератовые руды.

Урановая минерализация в ураноугольных залежах однотипна для всех горизонтов и представлена настураном (76%), урановыми чернями* (14%) и коффинитом (10%). Молибденовые минералы — ильземанит, иордзит, молибденит. В эпигенетической зональности поведение урана и молибдена совпадает: между ними существуют четкие корреляционные связи (коэффициенты корреляции 0,60—0,69).

Рудные угли помимо попутного молибдена характеризуются повышенными (непромышленными) содержаниями и других элементов-спутников: селена — 0,001%—0,009%; германия — 5—9 г/т; рения — 0,4—0,5 г/т; кобальта — 0,002—0,009%; иттрия — 0,01—0,069%; ванадия — 0,002—0,052%.

Зольность рудных углей достигает 17,57—20,10%, повышаясь по отдельным залежам со смешанным типом руд до 39,94—52,80%; содержание пирита составляет 4—7,8%; теплотворная способность рудных углей (рабочая) 4190—4466 ккал/кг.

В силикатных рудах урановая минерализация также однотипна во всех горизонтах и представлена оксидами урана (80%) и коффинитом (20%). В повышенных, но непромышленных концентрациях присутствуют селен и молибден (первые тысячные, редко сотые доли процента). Рудам свойственно повышенное содержание углистой органики — 0,77—6,75%, карбонатов — 0,18—1,19, реже до 8,9%.

Технология переработки урановых руд разработана на лабораторных и ползаводских пробах с обеспечением высокой степени извлечения урана и молибдена. Предложены две технологические схемы переработки в зависимости от типа руд (угольный, силикатный), величины зольности, наличия попутного молибдена: прямой гидрометаллургический передел руд с извлечением урана (а из рудных углей и молибдена) и предварительное сжигание рудных углей с переделом зольного остатка с извлечением урана и молибдена, с утилизацией получаемой при этом теплоты.

Необходимо отметить, что в КНР, на восточном продолжении

* К «урановым черням» отнесена минерализация, не дающая на рентгено-структурных дебаграммах дифракции.

Кольджатской ураноносной полосы, в настоящее время способом подземного выщелачивания успешно эксплуатируются урановорудные залежи, локализованные в слабопроницаемых песчаниках V цикла (K_{ϕ} от 0,1 до 1,2 м/сут). Вероятно, данный способ можно рентабельно применять и для отработки песчаных залежей (по крайней мере, части их) на месторождении Кольджат. Для решения этого вопроса требуется проведение дополнительных лабораторных и натурных экспериментов.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки месторождения сложные в связи с расположением Кольджатского месторождения в краевой юго-восточной части Илийского артезианского бассейна, а также слабой и неоднородной литификации вмещающих пород. В обводнении разреза участвуют три водоносных комплекса пород: неогеновый, верхнемеловой и нижне-среднеюрский, из них первых два водообильные.

Основные параметры водоносных горизонтов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Характеристика водоносных горизонтов

Рудоносный комплекс	Мощность, м	Напор, м	Удельный дебит, л/с	Коэффициент фильтрации, м/сут	Минерализация, г/л
Неогеновый	0—58	0—270	0,16—0,66	0,66—2,35	0,2—1,3
Верхнемеловой	0—120	0—420	0,23—0,78	0,42—1,50	0,4—2,0
Юрский	30—160	100—550	0,01—0,08	0,06—0,56	0,4—1,4

Водоносность юрских угленосных отложений низкая; расчетный приток из них в шахту составляет 322 м³/ч.

Проходка шахтных стволов потребует применения специальных методов, а разработка угольных пластов и урановорудных залежей — предварительного осушения месторождения.

Месторождение находится в зоне газового выветривания, угольные пласты незагазованы.

В границах шахтного поля (до глубины 600 м) утверждены балансовые запасы бурых (неурановых) углей в количестве 733 684 тыс. т.

По запасам урана месторождение определено как крупное. В границах выделенного шахтного поля оно оценивается как подготовленное для промышленного освоения.

Нижнеилийское месторождение

Нижнеилийское ураноугольное месторождение расположено в юго-западной части Балхашской впадины, в дельте р. Или, и связано с юрскими отложениями одноименного угленосного бассейна.

Месторождение выявлено в 1973 г. партией № 35 объединения «Волковгеология» при проведении в этом районе специализированных поисковых работ на уран с применением бурения. В 1974—1977 гг. были осуществлены поисково-оценочные работы с определением масштабов угле- и ураноносности месторождения и его района, в результате которых были установлены крупные масштабы Нижнеилийского месторождения и его комплексный характер. В 1978—1980 гг. на месторождении выполнена предварительная разведка с апробацией запасов в ГКЗ, а в 1981—1986 гг. — детальная разведка центральной части месторождения в границах трех шахтных полей — № 5, 6, 7 (из одиннадцати). Изучение месторождения осуществлялось буровыми скважинами без применения горных выработок. Всего на месторождении и в его районе пробурено 5867 скважин общим объемом 1615 тыс. м, в том числе на детально разведанных шахтных полях 3157 скважин общим объемом 871 тыс. м.

Нижнеилийское месторождение — комплексное молибден-ураноугольное. Промышленные угле- и ураноносность здесь связаны с одним мощным угольным пластом. Центральная, детально разведанная часть месторождения оценивается как подготовленная для проектирования предприятия под подземный способ отработки.

Геологическое строение. На Нижнеилийском месторождении мезозойско-кайнозойский комплекс терригенных отложений мощностью до 400—500 м выполняет погребенную грабен-синклиналиную структуру протяженностью около 100 км и шириной до 15—20 км, образованную двумя системами северо-западных глубинных долгоживущих разломов, субпараллельных Сарытумской зоне, а также близширотных (рис. 40). Фундамент впадины сложен в различной степени дислоцированными палеозойскими осадочно-вулканогенными образованиями кислого и среднего состава и породами интрузивного комплекса, в основном гранитоидными.

Ранне-среднеюрские мезозойские отложения в центральной части прогиба залегают на размытой поверхности палеозойских пород, а на флангах — на их корках выветривания. Мощность кор достигает 25—30 м; они характеризуются высоким содержанием глинозема (до 30—50%) и наличием в кровле небольших по размерам лентообразных залежей бокситов мощностью порядка первых метров с низким (3—5) кремниевым модулем. Юрская толща мощностью до 250—260 м сложена терригенными речными, озерными болотными отложениями, вмещающими ближе к верхней части разреза мощный угольный пласт (рис. 41).

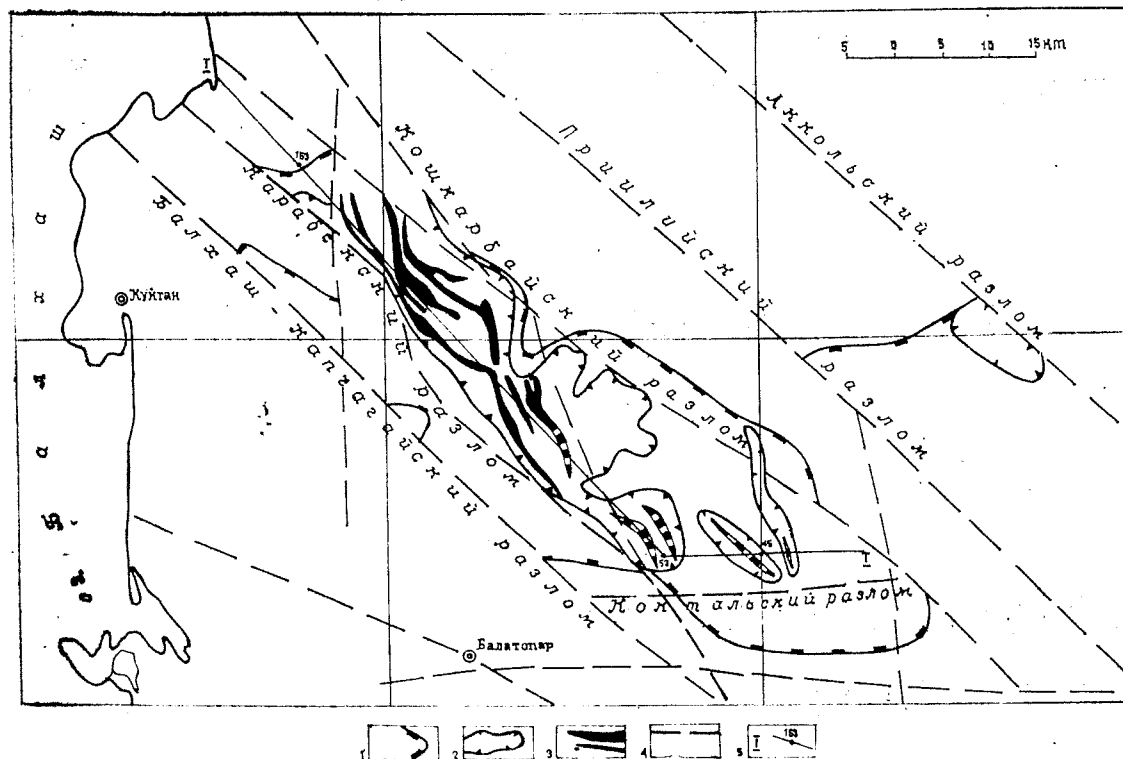


Рис. 40. План рудоносности Нижнеилийского месторождения (по В. Г. Белозерову): 1 — границы распространения юрских отложений; 2 — то же, угленосных юрских отложений; 3 — урановорудные залежи в кровельной части угольного пласта с кондиционным урановым оруденением; 4 — зоны разрывных нарушений; 5 — линия геологического разреза, скважины и их номера

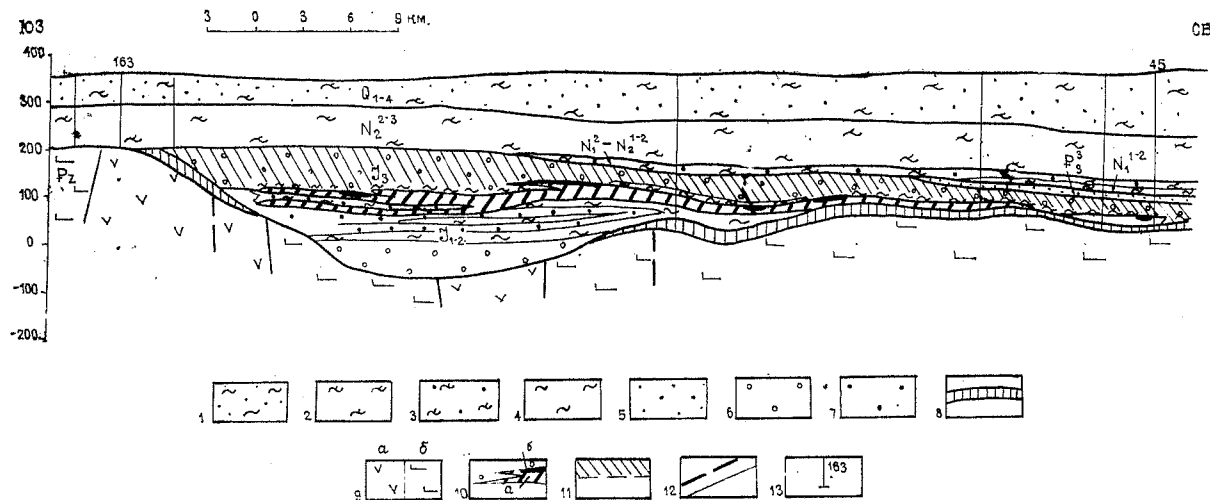


Рис. 41. Позиция уранового оруденения в геологическом разрезе Нижнеильского ураноугольного месторождения (по В. Г. Белозеру): 1 — эоловые пески, супеси, суглинки глины; 2 — гипсоносные глины с линзами и прослоями песчаников; 3 — гипсоносные песчанистые глины, глинистые песчаники и конгломераты; 4 — глины с прослоями и линзами песчаника; 5 — пески и песчаники с линзами и прослоями глин; 6 — галечники, пески и песчаники; 7 — циклично переслаивающиеся конгломераты, гравелиты, песчаники, глины, алевролиты; 8 — латеритная бокситоносная кора выветривания; 9 — палеозойские эффузивные и осадочные породы, преимущественно андезитовые (а) и диабазовые (б) порфириды; 10 — бурые угли (а) с урановым оруденением (б); 11 — зона грунтового красноцветного окисления; 12 — разрывные нарушения; 13 — буровые скважины и их номера

Образования юры подразделяются на угленосную и надугленосную свиты.

Разрезу угленосной свиты свойственны цикличное строение (выделяются четыре цикла — снизу I—IV) и трансгрессивный характер залегания отложений циклов: снизу вверх уменьшается крупность обломочного материала и увеличивается угленасыщенность. Из-за неровной поверхности ложа депрессии мощность угленосных отложений и их фациальный состав испытывают значительную изменчивость, а число циклов может сокращаться до одного-двух вследствие выпадения нижних частей разреза угленосной свиты. Максимальной мощности угленосная свита достигает в центральной части Нижнеилийского прогиба, вдоль юго-западного борта, примыкающего к Карабекскому сбросу, где она составляет 180—220 м и где проявлены все четыре цикла. Вблизи северо-западного и юго-восточного замыканий прогиба мощность угленосной свиты уменьшается до первых десятков метров, число циклов сокращается до одного-двух. Таким образом, осадки первых трех циклов распространены только в центральной и юго-западной частях прогиба, а четвертого — на всей его площади.

Разрез всех циклов в основании представлен средне- и мелкогалечными конгломератами (в I цикле — с включением мелких валунов), гравелитами, крупнозернистыми песчаниками, в средней части — разномзернистыми песчаниками, в верхней — алевропесчаниками, алевролитами и глинами, содержащими линзы и пропластки мощностью до 1 м (I—III циклы) или пласты (IV цикл) бурых углей. Отложения каждого последующего цикла залегают на предыдущем со слабым размывом, без углового несогласия. Особенности отложений угленосной свиты являются наличие углистого детрита в терригенной части разреза, сероцветный облик пород, слабая литификация отложений. Максимальные мощности отложений I—IV циклов составляют соответственно 70, 25, 33, 80 м.

Площадь распространения отложений надугленосной свиты в основном совпадает с площадью, занятой осадками угленосной свиты. На большей ее части надугленосная свита сложена крупнозернистыми полимиктовыми песчаниками с частыми прослоями и линзами конгломератов. Подчиненную роль играют мелкозернистые песчаники, алевропесчаники, алевролиты и глины, развитые преимущественно в западной части депрессии. Породы имеют первичный красный цвет. Мощность свиты изменяется от первых метров у бортов депрессии до 60—80 м в ее восточной части.

Кайнозойский разрез представлен позднеолигоценовыми и раннемиоценовыми отложениями, относимыми к колшенгельской свите*, породами аральской (N_1^2), павлодарской (N_1^1 — N_2^1) и илийской (N_2^{2-3}) свит, четвертичными образованиями.

* По другим представлениям, эта свита имеет позднесенонский возраст.

Отложения колшенгельской свиты с разрывом и угловым несогласием залегают на пенепленизированной и размытой поверхности осадков надугленосной свиты, сложены галечно-конгломератовыми и песчаными породами, нередко на известковистом цементе; мощность свиты 30 м.

Аральская свита представлена средне-тонкозернистыми песчаниками и голубовато-зелеными и серыми глинами; мощность до 80 м.

Отложения павлодарской свиты залегают с разрывом на породах аральской и надугленосной свит. Они представлены красными глинами внизу и песчано-щебнистой породой на карбонатном цементе сверху; мощность 108 м.

Илийская свита представлена песчано-глинистыми известковыми и гипсоносными породами буроватого и палевого цвета; мощность 50—100 м.

Среди четвертичных образований распространены известковистые мелкозернистые слабощементированные песчаники; значительные площади занимают золотые пески мощностью 10—30 м; общая мощность около 100 м.

Тектонические дислокации в период осадконакопления юрских отложений, в рудообразующий и пострудный этапы, были малоамплитудными и практически не усложняли первичной морфологии угленосных отложений и угольного пласта. Наклоны слоев и угольного пласта 1—2° на юго-восток. Лишь в узких приразломных зонах, ограничивающих прогиб, углы наклона пластов увеличиваются до 4—6°.

Угленосность. Промышленная угленосность на Нижнеилийском месторождении связана с мощным угольным пластом, залегающим в верхней части IV цикла угленосной свиты. Пласт прослежен по простиранию Нижнеилийского грабена на протяжении около 65 км при ширине от 2—3 до 12—15 км; на северо-западном фланге он может быть прослежен еще на 20—30 км. Общая прогнозная площадь распространения пласта около 700 км², в том числе на изученной площади 500 км². Глубина залегания кровли пласта в северо-западной части месторождения достигает 150 м, в центральной части — 230—280 м, а в юго-восточной увеличивается до 300—330 м.

Максимальная (59 м) мощность угольного пласта установлена в центральной части прогиба; на северо-западе и юго-востоке наблюдаются усложнение его границ, резкие колебания ширины, вплоть до разделения на юго-восточном фланге месторождения узкими (до 1,5 км) безугольными зонами на отдельные участки, обусловленные поперечными блоковыми выступами в фундаменте грабена. На большей части площади распространения пласта границами являются линии генетического выклинивания.

Угольный пласт на площади 240 км² имеет простое строение, среднюю мощность около 20 м, практически не содержит пород-

ных прослоев и относится к группе выдержанных; с ним связано около 57% запасов месторождения. В юго-восточной части, на площади около 260 км² угольный пласт расщепляется на две угольные пачки — нижнюю (I) и верхнюю (II). Нижняя включает четыре, верхняя — пять пластов рабочей мощности (свыше 1,5 м); с ними связано 43% запасов углей. В плане они представляют собой полосы различной протяженности (от 7 до 40 км) и ширины (от 0,2 до 10 км), располагающиеся субпараллельно линиям расщепления и генетического выклинивания основного пласта. Мощность угольных пропластков изменяется от минимальной рабочей до первых десятков метров.

Угли Нижнеилийского месторождения относятся к бурым марки Б₂. Мощный пласт и его пропластки сложены углями преимущественно фюзенового типа с подчиненным развитием кларенодуреновых разностей; названные типы сложно переслаиваются с постепенными взаимопереходами.

Угли характеризуются средней зольностью 16,06%, в том числе в пределах шахтных полей № 5, 6, 7 — 14,45%, с колебаниями по пластопересечениям от 8—10 до 25—30%. Содержание серы сульфидной 1,03%, выход летучих — 38,48%, содержание влаги в естественном залегании — 38%, теплотворная способность горючей массы — 6635 ккал/кг, рабочего топлива — 3074 ккал/кг.

В составе золы основными компонентами являются оксиды кремния, алюминия, кальция, магния, серы; содержание оксида натрия колеблется от 3,06 до 7,20%, калия — 0,41—1,13%. По содержанию оксида натрия угли подразделяются на три группы:

- 1) несолёные — с содержанием оксида натрия в сухом угле менее 0,4%; включающие 17% запасов месторождения (распространены преимущественно в юго-восточной части его);
- 2) слабосолёные — от 0,4 до 0,7—23% запасов (распространены в центральной части месторождения);
- 3) солёные — свыше 0,7% — 60% запасов (распространены на северо-западном фланге месторождения).

Урановое оруденение. На площади около 180 км² в кровле угольного пласта залегают угли мощностью от первых десятков сантиметров до 2 м (реже более), представляющие собой балансовые молибден-ураноугольные руды. Урановое оруденение на месторождении локализуется в кровельных частях угольного пласта и пропластков на границе с перекрывающими угольный пласт красноцветными и пестроокрашенными породами — разнозернистыми гравелитами и песчаниками (рис. 42).

Сложные, ступенчатые очертания выклинивания угольных пропластков в зоне расщепления угольного пласта обуславливают соответствующие очертания нижней границы грунтового окисления, контролирующей оруденение: за пределами верхнего угольного пласта (водоупора) граница зоны окисления опускается до следующего угольного пласта и так последовательно достигает

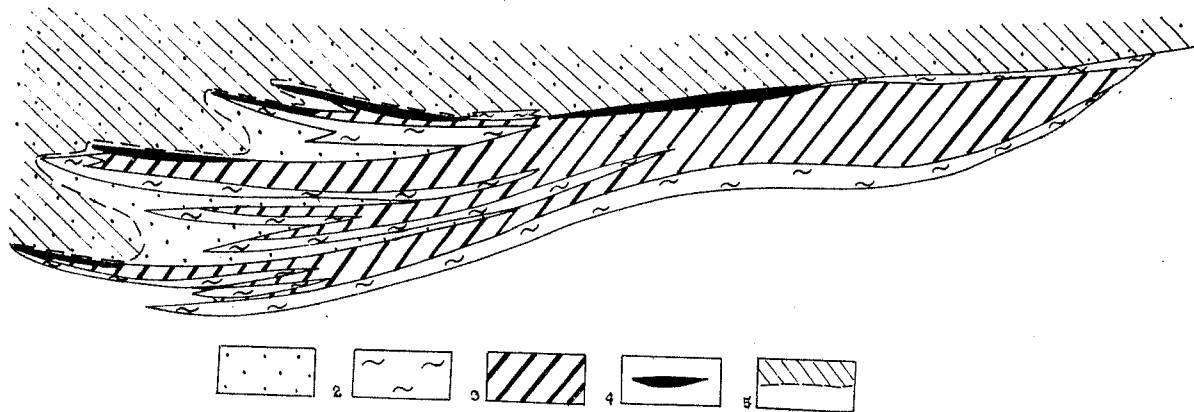


Рис. 42. Расщепление угольного пласта и расположение рудных горизонтов на Нижнеилийском ураноугольном месторождении: 1 — песчано-гравийные отложения; 2 — глины; 3 — угольный пласт; 4 — урановорудные залежи; 5 — зона красноватого грунтового окисления

кровли самых нижних угольных пропластков на участках, где они не перекрываются вышерасположенными угольными пропластками или пачками углисто-глинистых пород (рис. 42). На месторождении выделяются три рудных горизонта в ассоциации с угольными пластами и пропластками: верхний, совпадающий с кровлей мощного угольного пласта, а в зоне расщепления его — с кровлей самого верхнего пропластка; средний, приуроченный к кровле остальных угольных пропластков, где они не перекрываются верхним угольным пластом; нижний, связанный с кровлей пропластков нижней угольной пачки, где она не перекрывается угольными пропластками верхней угольной пачки.

Урановорудные залежи с балансовыми рудами имеют простую пластовую морфологию и характеризуются площадными размерами от 0,1 до 3,2 км². Возле границ выклинивания угольных пластов оруденение иногда распространяется на всю мощность, и рудные залежи приобретают форму «обратных роллов». Залежи, связанные с мощным угольным пластом, имеют усложненную гипсометрию с бессистемной волнистостью кровли (амплитуды 2—3 м), по-видимому, аналогичной особенностям морфологии залежи № 5 Кольджатского месторождения.

Всего на месторождении оконтурено 48 рудных залежей, из них 32 располагаются в детально разведанных шахтных полях № 5, 6, 7. Около половины запасов сосредоточено в трех крупных залежах, имеющих протяженность от 2,5 до 3 км и ширину от 0,1 до 2 км; две залежи связаны с верхним и одна — со средним рудными горизонтами. Мощности залежей от 0,1 до 3,9 м. Залегание субгоризонтальное — углы падения составляют 0—3°, в единичных случаях увеличиваются до 4—8°.

Распределение урана неравномерное. Содержания его в балансовых рудах изменяются от 0,05 до десятых долей процента, достигая иногда 1—2%; для высоких содержаний характерны минимальные мощности рудных интервалов. Площадные коэффициенты рудоносности изменяются от 0,6 до 1; распространение безрудных «окон» спорадическое. Балансовые руды по мощности сопровождаются оторочками забалансовых руд; средняя мощность верхней оторочки 0,33 м, нижней — 0,66 м. Глубина залегания залежей определяется глубиной залегания кровли угольных пластов и пропластков.

В проницаемых песчано-конгломератовых горизонтах у границ грунтового и слабо проявленного на этом месторождении пластового окисления отмечается повышенная радиоактивность в сероцветных породах, изредка фиксируются спорадические концентрации урана в первые сотые доли процента; промышленные залежи в терригенных породах отсутствуют.

Урановая минерализация в уранугольных залежах однотипна для всех горизонтов и представлена настураном (80%) и коффинитом (20%). Молибденовая минерализация тесно парагенетически

связана с урановой (коэффициенты корреляции по содержанию составляют 0,63—0,82) и представлена ильземанитом, иордзитом, реже молибденитом. В балансовых угольных рудах в промышленных и близпромышленных концентрациях содержатся и другие попутные компоненты со следующими средними содержаниями: рений — 6,8 г/т, германий — 9,9 г/т, серебро — 3,5 г/т, кобальт — 0,017%, селен — 0,025% и др. (см. рис. 43).

Зольность рудных углей составляет 26,4%; содержание серы сульфидной — 2,28%, карбонатов — 0,07%; теплотворная способность горючей массы — 6590 ккал/кг, рабочего топлива — 2654 ккал/кг.

Технология переработки урановых руд, разработанная на укрупненных лабораторных пробах, предусматривает как прямой гидрометаллургический передел угольных руд, так и переработку зольного остатка после сжигания углей и обеспечивает высокое извлечение урана, молибдена, а также утилизацию значительной массы попутных элементов.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки Нижнеилийского месторождения, расположенного в западной части Балхашского артезианского бассейна, оцениваются как весьма сложные в связи с низкими прочностными свойствами перекрывающего рыхлого разреза, напорным характером вод, большой водообильностью и высокой минерализацией подземных вод.

В обводнении разреза участвуют четыре водоносных комплекса пород (табл. 7).

Возможные водопритoki в шахту 13 000—15 000 м³/ч. Проходка шахтных стволов потребует применения специальных методов, а разработка месторождения — его предварительного осушения.

Месторождение находится в зоне газового выветривания с наличием подзоны азотно-углекислых газов. Угли склонны к самовозгоранию, обладают повышенной пожаро- и взрывоопасностью; концентрация токсичных элементов (ртуть, бериллий, фтор, мышьяк, уран, селен и др.) в энергетических углях не превышает допустимых пределов.

Таблица 7. Характеристика водоносных комплексов

Комплекс	Мощность, м	Напор на кровлю горизонта, м	Удельный дебит, л/сут	Коэффициент фильтрации, м/сут	Минерализация, г/л
Четвертичный	69	—	0,71	1,4	20,4
Неогеновый	33	103	0,36	1,2	11,7
Юрский надугленосный	59	180	0,92	5,2	6,0
Юрский угленосный	59	267	0,18	0,5	34,0

Запасы энергетических углей на месторождении составляют 9975 млн т. Общая оценка масштабов Нижнеилийского бассейна 13,7 млрд т угля.

Центральная часть Нижнеилийского месторождения в границах шахтных полей № 5, 6, 7 определена как подготовленная для проектирования промышленного предприятия.

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОРУДЕНЕНИЯ УРАНОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Представления об условиях образования ураноугольных месторождений основаны на результатах многолетнего изучения и сравнительного анализа различных по масштабам промышленных месторождений — Кольджатского, Нижнеилийского, Кавакского и Джильского (Киргизия), многочисленных небольших по масштабам месторождений и рудопроявлений — Ой-Карагойского, Хантауского, Кулан-Кетпесского, Джергаланского, Джергесского и других, а также безрудных депрессионных структур с терригенными или угленосными отложениями — Курайлинской, Коксалинской, Аягузской, Леонтьевской и других.

До 50-х гг. господствовали представления о сингенетическом происхождении урана на буроугольных месторождениях. Первые высказывания о наложенных рудоформирующих процессах появились при изучении расположенных в Киргизии Кавакского и Джильского месторождений (В. С. Веселовский, 1948; И. Ф. Гарбузова, 1950; З. А. Некрасова, 1956, 1957), однако должного обоснования тогда они не получили.

Основные положения об эпигенетическом формировании оруденения в угленосных отложениях были разработаны в 1961—1962 гг. автором данного раздела и А. А. Ковалевым при изучении Кольджатского месторождения. Этому способствовало развитие в то время теории эпигенетического инфильтрационного рудообразования урановых месторождений в песчаных водоносных горизонтах в Центральных Кызылкумах.

Значительный вклад в выяснение особенностей формирования ураноугольных месторождений в последующем внесли геологи Волковской экспедиции В. Г. Белозеров, В. С. Климов, В. М. Черняков, В. П. Потаскуев и другие, сотрудники ВИМСа А. С. Столяров, М. Ф. Каширцева и другие, ИГЕМа — А. К. Лисицын, И. А. Кондратьева. Указанным вопросам посвящен ряд публикаций [4, 20, 32, 42].

В настоящее время общепризнанным является положение о эпигенетическом инфильтрационном образовании уранового оруденения в угленосных отложениях, связанном с привносом урана кислородсодержащими грунтовыми и пластовыми водами и отложе-

нием его на восстановительном геохимическом барьере в угольных пластах и во вмещающих терригенных породах. В этом отношении ураноугольные месторождения можно рассматривать в качестве аналогов эпигенетических инфильтрационных месторождений «песчаникового типа». Вместе с тем ураноугольные месторождения характеризуются рядом особенностей, отличающих их от месторождений региональных ЗПО в песках. Прежде всего следует отметить их приуроченность к локальным депрессионным структурам и специфику рудолокализации преимущественно в угольных пластах с формированием основной (или значительной) массы оруденения древними (мезозойскими) зонами грунтового окисления и только части его зонами пластового (раннекайнозойского) окисления; наложение зон окисления на угольные пласты и углистые терригенные породы с весьма высокими восстановительными свойствами, что определяет в целом более высокие концентрации урана, возможность образования оруденения из слабоконцентрированных водных растворов; широкий спектр сопутствующих полезных компонентов, иногда достигающих промышленных содержаний (молибден, рений, германий, серебро, селен и др.).

Учитывая неразрывную связь особенностей формирования локальных депрессионных структур, условий накопления в них угленосных толщ и процессов рудолокализации с геотектоническим режимом развития региона, целесообразно для выяснения условий и основных этапов формирования ураноугольных месторождений коротко охарактеризовать дорудный, рудный и пострудный этапы развития Илийской провинции [32].

Дорудный этап. В Илийской и Балхашской впадинах юрские угленосные отложения выполняют суборогенные депрессионные структуры двух видов: Нижнеилийский угленосный бассейн, который сформировался в наложенных грабен-синклинальных структурах, образовавшихся вдоль систем долгоживущих глубинных разломов, активизированных в раннем мезозое, и Илийский угленосный бассейн, возникший в унаследованной от позднепалеозойского этапа впадине.

Локальные депрессионные структуры заполнялись угленосными молассами в условиях периодических изменений интенсивности тектонических движений, вызвавших неравномерный характер осадконакопления с циклическим чередованием различных по составу пород — от галечно-конгломератовых и гравелитовых (начало циклов) до алевролитовых с пластами углей (конец) и внутриформационными перерывами и размывами. Именно цикличность осадконакопления определяет резкую гетерогенность строения угленосных толщ и контактирование проницаемых отложений с угольными пластами. Мощность угленосных отложений в рудоносных структурах — первые сотни метров.

Важной особенностью строения рудовмещающих отложений, существенно влияющей на развитие рудоформирующих процессов,

являются последовательное расширение площади седиментации во времени с «трансгрессивным» налеганием более молодых слоев (в том числе пластов углей) на породы фундамента в периферических частях депрессий. Этим создавались благоприятные условия для последующего развития уранового оруденения на границе зон грунтового окисления, наклаывающегося на верхние угольные пласты. К необходимым условиям для развития инфильтрационного рудообразования относятся слабая литификация угленосных отложений, буроугольная стадия метаморфизма органического вещества, отсутствие или незначительные проявления дорудных тектонических деформаций. Неблагоприятным фактором служит «запечатывание» угольных пластов алевроито-глинистыми образованиями.

Рудный этап. В поздней юре и раннем мелу рассматриваемый регион входил в состав консолидированной субплатформенной области, представляющей собой континентальную возвышенную денудационную равнину с аридными и семиаридными климатическими условиями. Континентальный режим и аридный климат были благоприятными для мобилизации подвижных форм урана из кор выветривания, развивающихся в магматических и осадочных породах обрамления депрессий. Развитие рудообразующего процесса целиком зависело от динамики инфильтрации кислородных ураноносных вод в угленосные депрессионные структуры, которая резко усиливалась в эпохи тектонической активизации и морфоструктурной дифференциации региона. Несомненным отображением обстановок инфильтрационного рудообразования являются красноцветные молассоидные (суборогенные) формации основания позднего мела, олигоцена и миоцена, проявленные в районах промышленных ураноугольных месторождений после периодов континентального перерыва.

Процесс рудообразования на ураноугольных месторождениях обнаруживает четкую взаимосвязь с развитием эпигенетической окислительной зональности, включающей грунтовую — красноцветную (тыловую) и пластовую — желтоцветную (передовую) зоны окисления, отражающие общую стадийность развития процесса. Иногда во фронтальной части проявлена подзона обеления (белесых или зеленоватых пород), отделяющая зону оруденения от границ окисления. Рудоносность границ зон грунтового и пластового окисления на разных ураноугольных месторождениях неравноценна. Так, рудные залежи в угольных пластах Нижнеилийского месторождения практически целиком контролируются зонами грунтового окисления, тогда как на Кольджатском месторождении с ними связано до 60% запасов. Избирательное проявление оруденения в зонах грунтового или пластового окисления определяется условиями инфильтрации ураноносных вод, зависящими от строения угленосных бассейнов в период рудообразования и от восстановительной емкости рудовмещающих отложений.

Грунтово-инфильтрационное рудообразование широко выражено в депрессионных структурах с «трансгрессивным» типом строения разреза, более широким распространением по площади верхних проницаемых слоев разреза и пластов углей при их субгоризонтальном залегании. В таких условиях наиболее благоприятными для циркуляции инфильтрационных вод были верхние проницаемые слои угленосной толщи (до верхнего водоупора, т. е. угольного пласта), располагающиеся в зоне свободного водообмена, а проникновение вод в нижние напорные водоносные горизонты депрессионных структур было затруднено: яркий пример такого широко-масштабного рудного процесса — Нижнеилийское месторождение. При наклонном ($3-7^\circ$) положении слоев, как это имеет место на Кольджатском месторождении, на крыльях депрессионных структур наблюдается «секущее» положение границы грунтового окисления по отношению к наслонению пород, что приводит к сокращению площади рудообразования в отдельных угольных пластах и последовательному, ступенчатому перемещению рудных зон на более высокие горизонты по падению слоев.

Таким образом, рудные залежи в общем случае локализуются висячем боку субгоризонтально залегающих угольных пластов на границе зон грунтового окисления. Положение и размеры рудных залежей контролируются полями развития окисленных надугольных галечно-песчаных отложений. Вдоль выклинивания угольных пластов в полосе шириной десятки — первые сотни метров оруденение иногда захватывает всю их мощность, развиваясь и у подошвы, и образует формы, напоминающие «обратные роллы».

На площадях развития угольных пластов, экранированных глинами, грунтовое окисление до их кровли, как правило, не распространяется и оруденение в них не развивается или проявляется очень слабо.

Зоны пластового (желтоцветного) окисления распространены по проницаемым горизонтам всего разреза угленосных толщ в поднятых прибортовых частях депрессионных структур, обращенных к области инфильтрации. Интенсивность проявления пластового окисления по проницаемым горизонтам угленосной толщи может быть различной. Так, в Нижнеилийской депрессионной структуре пластовым окислением охвачены проницаемые подугольные отложения всех циклов, однако процесс здесь носил вялый характер, что, по-видимому, было связано с отсутствием области разгрузки пластовых вод. Вследствие низкой интенсивности процесса в зоне выклинивания окисления, имеющей весьма сложную конфигурацию в разрезе и плане, промышленное оруденение здесь не образовалось, несмотря на благоприятный для его локализации фациально-литологический состав терригенных проницаемых пород, их сероцветный облик и обилие в них углистого детрита. На Кольджатском же месторождении, наоборот, этот процесс был достаточно интенсивным, что привело к наложению пластового окисления на

древнее грунтовое и по кровле угольных пластов с развитием его по падению, на глубину. При этом происходило значительное вторичное обогащение ураном и сопутствующими компонентами угольных пластов на их «головах», в полосе шириной десятки и первые сотни метров, где содержания урана достигают $0,5-1,5\%$, изредка выше. Указанное обогащение происходило в результате не только ранее накопленного урана, но и вследствие дополнительного приноса его кислородными водами в эпоху развития пластового окисления.

В небольших депрессионных структурах зоны пластового, как и грунтового, окисления могут достигать осевых частей структур или быть сквозными, особенно в отложениях, незначительно обогащенных органическим материалом. В целом же для угленосных депрессионных структур характерна незначительная протяженность развития зон пластового окисления на глубину, по падению пород, составляющая обычно первые километры, в отличие от региональных ЗПО в песчаниковых горизонтах, протяженность которых по направлению потока подземных вод может достигать сотен километров.

В зависимости от мощности и строения угленосных толщ, количества угольных пластов и проницаемых горизонтов, раскрытости структур в эпоху рудогенеза оруденение на ураноугольных месторождениях может носить одноярусный, как на Нижнеилийском, или многоярусный, как на Кольджатском месторождениях, характер.

В рудоносных зонах окисления установлен комплекс эпигенетических минеральных новообразований, создающий наложенную минералого-геохимическую зональность — вертикальную в зонах грунтового окисления и горизонтальную в зонах пластового окисления.

Эпигенетическая зональность в углях (от зоны окисления к неизмененным породам) такова (рис. 43):

зона нацело окисленной ржаво-бурой органической массы мощностью от первых сантиметров до $0,5-0,7$ м, сливающаяся вверх с зоной окисления в перекрывающих их породах;

зона уранонакопления (восстановления) мощностью от первых десятков сантиметров до первых метров, с балансовыми концентрациями урана, молибдена, других попутных компонентов (селен, серебро, рений, германий, кобальт, редкие земли и др.), с сульфидами железа до ($4-6\%$), иногда с карбонатами; она сопровождается проявленной в кровле подзоной частичного окисления углей мощностью до первых десятков сантиметров, с ржавыми пятнами и примазками гидроокислов железа, с пониженными (забалансовыми) содержаниями урана (подзона разрушения урановых руд), повышенными содержаниями селена, иногда серебра, золота и внизу подзоной рассеяния урана, мощностью также первые десятки сантиметров, с забалансовыми содержаниями других попутных компонентов (до их фоновых значений);



Рис. 43. Рудоконтролирующая минералого-геохимическая зональность на Нижнеильском месторождении (по В. Г. Белозерову и М. Ф. Каширицевой): 1 — конгломераты, песчаники, алевролиты, глины; 2 — уголь (а — с пятнами лимонитизации); 3 — подзона окисления красноцветная; 4 — то же, желтоцветная; 5 — степень окисленности органического вещества; 6 — растворимое органическое вещество; 7 — урановое оруденение

зона неизменных углей, практически не содержащих следов эпигенетического рудоформирующего процесса.

Зональность в горизонтах песчано-конгломератовых пород следующая:

зона окисленных пород с гидроокислами железа гетит-гидрогетитового ряда, отсутствием или следами окисленного углистого детрита; по восстанию может переходить в красноцветную зону; уранового оруденения не содержит;

зона уранонакопления (восстановления) шириной по падению от первых десятков до первых сотен метров, характеризуется сероцветным обликом пород, наличием эпигенетических сульфидов железа, балансовыми (или забалансовыми) содержаниями урана, наличием селена (вблизи контакта с зоной окисления); сопровождается (не всегда) по восстанию слабо выраженной оторочкой частично окисленных пород, а по падению — более широко развитой подзоной ореола рассеяния урана протяженностью десятки и первые сотни метров, с забалансовыми концентрациями урана;

зона первично-сероцветных неизменных пород с углефицированным детритом, диагенетическими сульфидами и кларковыми концентрациями урана и других элементов.

Пострудный этап на ураноугольных месторождениях не всегда может быть строго очерчен во времени, поскольку рудоформирующие процессы на отдельных месторождениях проявлялись неоднократно, а сформировавшееся оруденение перераспределялось в различных геологических обстановках. Прекращение основного рудообразующего процесса обычно связано с «захоронением» угленосных депрессий в межгорных и предгорных прогибах на неотектоническом этапе, что приводило к изоляции их от воздействия кислородных урансодержащих пластовых вод. Так, Нижнеилийское месторождение с позднего миоцена — раннего плиоцена и до настоящего времени является гидрогеологически «захороненным» и гидравлически изолированным от инфильтрационных вод и характеризуется слабовосстановительными глеевыми гидрогеохимическими условиями, в которых тем не менее происходит существенное внутрирудное перераспределение урана, вызывающее резкое нарушение радиоактивного равновесия в рудах. Кольджатское же месторождение, первоначально «захороненное» в позднем мелу, было частично вскрыто в палеогене и неогене и подвержено воздействию более молодых рудных этапов. В позднем плиоцене — антропогене в условиях гидрогеологически раскрытой структуры всех циклов угленосных отложений проявился этап «лимонно-желтого» пластового окисления, который продолжает развиваться вплоть до настоящего времени. С этим этапом в песчано-конгломератовых горизонтах на ряде участков месторождения связано дальнейшее продвижение зон окисления на глубину, по падению слоев, с перемещением ранее накопленного урана без существенного дополнительного привноса его инфильтрующимися кислородными во-

дами (содержание урана в современных пластовых водах не превышает $5 \cdot 10^{-6} \%$). Вновь формирующиеся молодые зоны окисления в сероцветных породах на своем выклинивании создают безрудные геохимические барьеры, а в случаях наложения их на более древние рудообразующие зоны происходит разрушение и рассеяние ранее накопленного рудного вещества с перераспределением его из «мешковых» частей роллов в крыльевые зоны с возникновением безрудных языков выклинивания молодых зон окисления.

В целом «захоронение» раннемезозойских рудоносных структур следует рассматривать как благоприятный фактор, способствующий сохранности сформировавшегося оруденения, хотя в отдельных случаях месторождения при этом могли быть в орогенных условиях погружены на недоступные глубины.

Необходимо отметить, что в Северной Киргизии и других горных районах, где угленосные юрские образования, в том числе рудоносные, новейшими орогенными процессами оказались поднятыми на значительные высоты, в пострудный этап развивались обратные «захоронению» процессы эрозии и разрушения месторождений.

Источник урана. Вблизи Кольджатского месторождения в домезозойском фундаменте не развиты специализированные на уран комплексы пород, так же, как и его рудные проявления, и широко распространены эффузивные образования преимущественно среднего состава. Следовательно, в этом районе отсутствуют реальные источники урана для инфильтрационного образования крупного ураноугольного месторождения. Поэтому можно предполагать, что процесс рудообразования на Кольджатском месторождении осуществляется из относительно бедных инфильтрационных вод, что могло компенсироваться условиями интенсивного водообмена, значительной длительности и многоэтапности процессов рудоформирования. На проявление подобной гидродинамической обстановки может указывать наличие на Кольджатском месторождении «выгоревших» (полностью окисленных) углей на участках выклинивания угольного пласта, а также неравномерного площадного «выгорания» угольной массы на мощность 3—5 м в кровле V мощного угольного пласта.

Нижнеилийское месторождение расположено вблизи Центрально-Чу-Илийского урановорудного района с промышленными месторождениями урана и молибдена и многочисленными рудопроявлениями в породах фундамента, среди которых широко развиты граниты и кислые вулканы. Наличие реальных источников урана в этом районе позволяет предполагать, что содержание урана и других элементов в рудообразующих растворах было более высоким, чем на Кольджатском месторождении. На это указывает также более широкий спектр в рудах Нижнеилийского месторождения сопутствующих элементов (молибден, рений, германий, серебро, кобальт, золото, редкие земли и др.), многие из которых достигают

как попутные компоненты промышленных концентраций. Между тем на Нижнеилийском месторождении не установлено участков явно «выгоревших» углей и формирование оруденения происходило, по-видимому, в один этап, связанный лишь с зоной палеогрунтового окисления. Это свидетельствует о менее активной по сравнению с Кольджатским месторождением гидродинамике инфильтрационных вод.

Из изложенного можно сделать вывод, что наличие источников урана в фундаменте обрамления в виде разрушающихся месторождений и рудопроявлений, пород с повышенным кларком урана, способных высвобождать его на стадии корообразования, является важным, но не определяющим условием для формирования инфильтрационных месторождений в угленосных толщах триасово-юрских депрессионных структур.

Таким образом, принципиальную схему формирования ураноугольных месторождений можно представить в следующем виде:

1. Образование в локальных прогибах циклично построенных, характеризующихся значительной гетерогенностью по составу и проницаемости рудовмещающих угленосных толщ с выдержанными пластами углей бурогоугольной стадии метаморфизма, находящимися в контакте со слабо литифицированными проницаемыми галечно-песчаными отложениями.

2. Проявление эпох длительного континентального перерыва в осадконакоплении с аридными и семиаридными климатическими условиями и этапов последующей тектонической активизации, с которыми связано развитие в проницаемых горизонтах рудовмещающих зон грунтового и пластового окисления, накопление урана и других элементов в угольных пластах и сероцветных терригенных породах, обогащенных углистым детритом.

3. Захоронение (или разрушение) сформировавшегося оруденения в соответствующих обстановках.

ДРУГИЕ ТИПЫ УРАНОВОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

СИНДИАГЕНЕТИЧЕСКАЯ ФОРМАЦИЯ В ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Осадочные, или сингенетические, урановые месторождения выделены в самостоятельные типы или классы в классификациях В. С. Домарова (1956 г.), В. Г. Мелкова и Л. И. Пухальского (1957 г.), А. И. Семенова (1959 г.), В. Я. Суражского (1960 г.), В. Н. Котляра (1961 г.), Я. Д. Готмана и А. В. Зубрева (1963 г.), С. Г. Батулина (1965 г.), М. Н. Альтгаузена (1966 г.), Л. С. Евсеевой (1967 г.) и других. В дальнейшем было установлено, что в современных водоемах уран в процессе седиментации не осаждается: он накапливается в донных иловых водах, из которых извлекается в осадок на стадии диагенеза в результате процессов сорб-

ции [30]. Поэтому такие концентрации необходимо классифицировать как диагенетические (точнее, раннедиагенетические, а поскольку уранонакопление происходит при участии седиментогенных бассейновых вод, авторы выделяют их под названием «синдиагенетические».

В Южном и Юго-Восточном Казахстане данная УРФ представлена группой непромышленных рудопроявлений и проявлений, связанных с озерными, преимущественно карбонатно-глинистыми отложениями. К ним относятся рудопроявления (проявления) Кендерлы, Керешты, Арчуок в Илийской впадине, Кумозек, Ассинское в Чу-Сарысуйской и Кошшагыл в Восточно-Балхашской (Лепсинской) впадинах.

Стратиграфическая приуроченность данного типа оруденения в Казахстане характеризуется довольно узким диапазоном: оно связано с отложениями различных свит неотектонического СФК. Возраст рудовмещающих пород и оруденения не всегда определяется однозначно. Так, например, Кумузекское и Ассинское рудопроявления Чу-Сарысуйской депрессии, по данным специалистов ВСЕГЕИ, тяготеют к отложениям кеншагырской (илийской) свиты (N_2^{2-3}). По нашему мнению, рудовмещающие образования на этих рудопроявлениях следует относить к аральско-павлодарскому комплексу (тогускенской толще — $N_1^2 - N_2^1$).

Большинство известных рудопроявлений локализовано в континентальных пестроцветных формациях: палево-пестроцветной известковой песчано-глинистой — N_2^{2-3} и пестроцветной известково-гипсоносной глинистой — $N_1^1 - N_2^1$, накопившихся в межгорных и предгорных впадинах орогенных областей, а также в прилегающей к ним подвижной части плиты в условиях аридного климата. Уран накапливался в локальных озерных бассейнах с развитой по берегам камышово-кустарниковой растительностью.

Ураноносным пачкам пород свойствен, как правило, ритмичный разрез, в котором чередуются глинистые, мергелистые, алевроитопесчаные, редко гравийно-песчаные слои различной мощности — от первых сантиметров до первых метров.

Весьма характерна множественность ураноносных слоев, число которых достигает 20—25 и более (Кендерлы, Кошшагыл). Ураноносные слои достаточно контрастно отделяются от подстилающих и перекрывающих отложений: это либо прослои серых, темно-серых, зеленовато-серых глин и алевролитов с углефицированными растительным детритом (C_{org} от сотых долей до 0,1—0,7%), залегающих среди красно- или зеленоцветных глинистых пород, обедненных растительной органикой или не содержащих ее (Кошшагыл, Кумозек, Ассинское), либо прослои серых и голубовато-зеленых мергелей, известняков, известковистых песчаников и алевролитов среди пестроцветных глинистых пород (Кендерлы и др.). Ураноносные прослои, как правило, маломощные (первые сантиметры и де-

сятки сантиметров); иногда их мощность возрастает до 1—1,5 м (рудопроявление Кошшагыл, Ассинское, Кумозек) и совсем редко, в переложенных рудных телах, отмечаются «раздувы» мощности до 2,2—3,7 м (Кумозек, Кошшагыл). Протяженность ураноносных слоев составляет сотни метров, иногда достигает 1,5—3 км (Ассинское). Размеры залегающих в их пределах рудных линз (с содержанием урана $\geq 0,01\%$) обычно не более первых сотен метров. Концентрации урана бедные — 0,01—0,03%. Повышение их до 0,05—0,07%, максимум до 0,1% (Кошшагыл, Кумозек) носит локальный характер. Морфология залежей в плане изучена слабо. Наряду с изометрическими формами рудных линз встречаются полосовидные залежи (Кошшагыл, Кумозек).

Минеральные формы в неокисленных рудах не установлены, предполагается возможность присутствия тонкодисперсных окислов и коффинита. Урановые концентрации сопровождаются повышенными содержаниями и ореолами Мо (на Ассинском рудопроявлении до 0,05—0,08%), V (до 0,1%), а также Ni, Ag, Sr.

СУБФОРМАЦИЯ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОРГАНОГЕННО-ФОСФАТНОГО ТИПА

Особое место в составе рассматриваемой рудной формации занимает уникальная в мире группа промышленных месторождений урана органогенно-фосфатного типа в майкопских отложениях Мангистау* (Прикаспийский рудный район), выявленная в 50-х гг. Ферганской аэропартией ВИМСа и Кольцовской экспедицией [26].

Особенности геологического строения Прикаспийского района

Платформенный комплекс мезозойско-кайнозойских пород залегает на дислоцированной пермо-триасовой песчано-сланцевой толще мощностью 7—8 тыс. м, обнажающейся в горах Каратау. Выше несогласно залегают юрские образования — континентальные угленосные (J_{1-2}) и морские (J_3) — общей мощностью более 500 м, которые перекрываются терригенной (в основном) и карбонатной толщей меловых осадков общей мощностью более 1000 м. Палеоцен (верхний) и эоцен представлены преимущественно карбонатными породами — известняками и мергелями мощностью 100—150 м.

Согласно залегающая выше мощная (более 800 м) рудовмещающая майкопская (олигоценно-нижнемиоценовая) толща расчленена на ряд свит и подсвит (снизу): узунбасская и куюлусская (нижний олигоцен), кенджалинская (средний олигоцен, или ниж-

* Описание приводится по данным сотрудников ВИМСа Р. В. Нифонтова, А. В. Коченова, А. П. Полушкина, А. С. Столярова и А. А. Шаркова (1967, г.).

ний майкоп), карагинская (верхний олигоцен, или средний майкоп) и кашкаратинская (нижний миоцен, или верхний майкоп).

Рудовмещающая карагинская свита мощностью до 400 м в предгорьях сложена зеленовато-серыми, до темно-серых алевритистыми глинами с остатками рыб. Южнее глины становятся безалевритовыми. Свита подразделяется здесь на три подсвиты: нижнюю, среднюю («рыбную») и верхнюю.

Нижняя подсвита темных зеленовато-серых глин согласно залегает на известковых глинах остракодового горизонта с редкими раковинами моллюсков, отпечатками крабов, фораминифер. В районе Карагие мощность подсвиты до 90 м.

Средняя («рыбная») подсвита резко отличается от нижней темным цветом глин, присутствием округлых стяжений (0,01—0,05 мм) тонкодисперсного пирит-мельниковита и органического вещества, повсеместным присутствием костных остатков и чешуи рыб. В основании подсвиты выделяется слой известковистых глин — от долей до 1,2—15 м. Мощность подсвиты изменяется от 40—50 до 100—150 м. С «рыбной» подсвитой связаны практически все органогенно-фосфатные урановые месторождения.

Верхняя подсвита мощностью до 80 м сложена зеленовато-серыми неслоистыми глинами со стяжениями пирита и тонкослоистыми алевритистыми глинами, местами переходящими в темный глинистый алевролит со спорадически распространенным костным ураноносным детритом рыб.

Выше с постепенным переходом налегают песчанистые алевритистые глины кашкаратинской свиты мощностью до 100 м.

Поверхность Южно-Мангистауского плато сложена известняками-ракушечниками, мергелями, глинами верхнего миоцена и плиоцена общей мощностью до 250 м.

В тектонической структуре района выделяется сложно построенный субширотный антиклинорий, представляющий собой систему антиклинальных зон (Каратауская мегантиклиналь, Тумгачинская, Беке-Башкудукская зоны и др.), разделенных Чакрыганской синклинальной зоной (рис. 44). Южное крыло Беке-Башкудукской антиклинальной зоны осложнено Жетыбайской структурной террасой, в которой расположены месторождения нефти и газа.

Южнее расположен Южно-Мангистауский прогиб, разделяемый Карагинской седловиной на две брахисинклинали — Сегендыкскую и Жазгурлинскую.

В тектоническом отношении урановые месторождения Мангистауской группы приурочены к Южно-Мангистаускому прогибу, причем большинство — к Карагинской седловине: Меловое, Тасмурун, Тайбагар, Садырнын (Карагинское рудное поле). Одно месторождение — Томак — связано с юго-западным крылом Беке-Башкудукской антиклинали. Значительно меньшее рудное поле с непромышленными месторождениями находится в Карынжарыкской седловине.

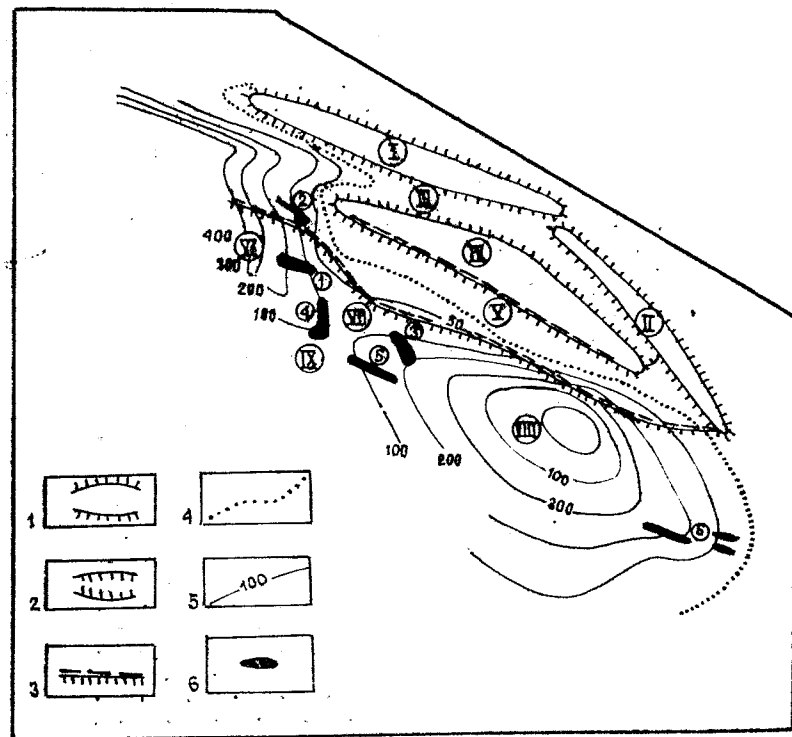


Рис. 44. План рудоносности Мангистауского рудного района (по А. С. Столярову): 1 — поднятия; 2 — прогибы; 3 — флексуры; 4 — границы распространения отложений верхнего олигоцена; 5 — стратонизогипсы по кровле среднего олигоцена; 6 — урановые месторождения и рудопроявления: 1 — Меловое, 2 — Томак, 3 — Тайбагар; 4 — Тасмурун-Ащисай; 5 — Садырнын; 6 — Карынжарыкское рудное поле.

Структуры: I — Каратауская мегантиклиналь, II — Тумгачинская линия антиклинальных складок; III — Чакрыганская синклиналь, IV — Беке-Башкудукская антиклинальная зона; V — Жетыбайская структурная терраса; VI — Сегендыкская синклиналь, VII — Карагинская седловина; VIII — Жазгурлинская синклиналь; IX — поднятие мыса Песчаного

Таким образом, урановые рудные поля контролируются относительно приподнятыми структурами, а в их пределах наблюдается контроль конседиментационными поднятиями более высоких порядков.

В палеогеографическом отношении урановорудный район не проявляет каких-либо отчетливых признаков близкой суши; он располагается в области открытого шельфа. Специфика фациальной обстановки накопления рудовмещающих горизонтов «рыбной» подсвиты — сероводородное заражение наддонных вод бассейна, под-

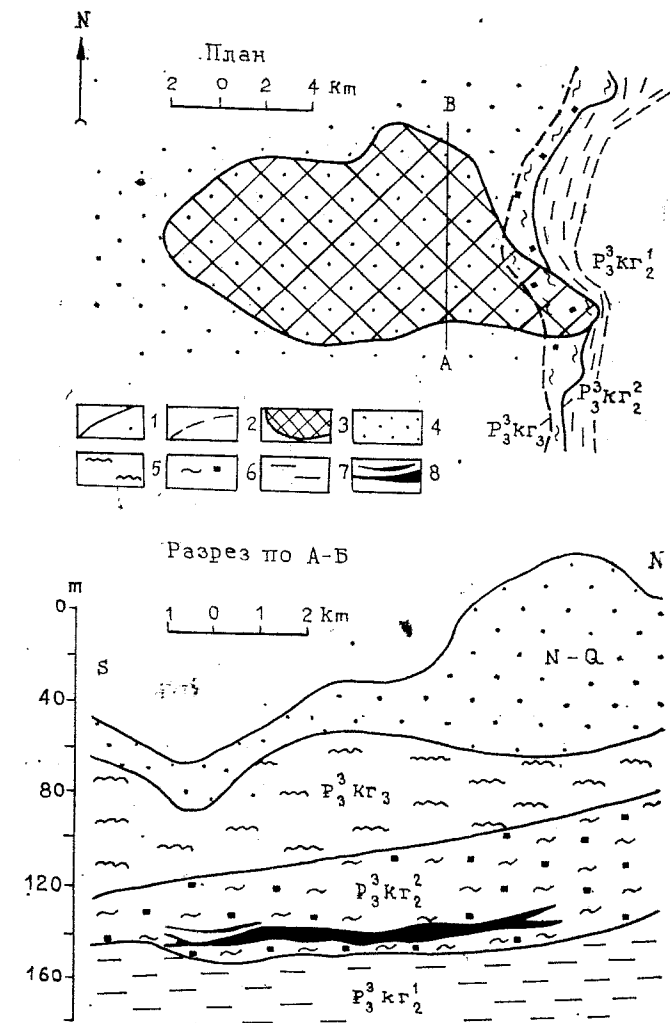


Рис. 45. Проекция рудной залежи на поверхность (вверху) и разрез по линии А—В (внизу) на месторождении Меловое: 1—4 — обозначения к плану: 1 — выход на поверхность рудного слоя, 2 — границы пачек на поверхности, 3 — контур проекции рудной залежи на поверхность, 4 — перекрывающий комплекс (N—Q); 5—8 — обозначения к разрезу: 5 — алевритистые глины, 6 — пиритовые глины, 7 — карбонатные глины, 8 — слой ураноносного костного детрита

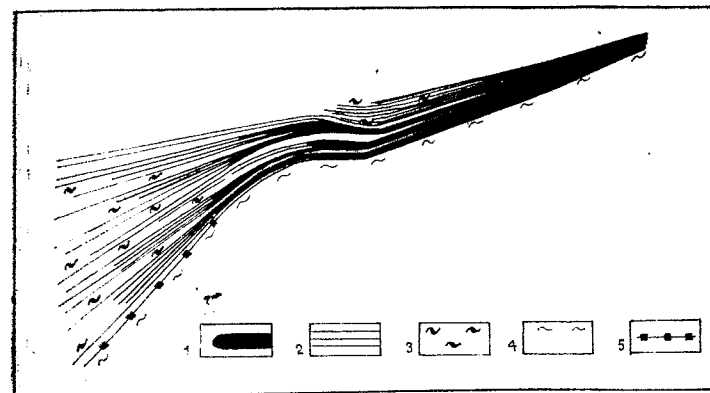


Рис. 46. Продольный разрез рудной залежи месторождения Меловое (по А. А. Шаркову): 1 — рудный пласт компактный; 2 — рудный пласт расслоенный; 3 — глины темно-серые с остатками рыб и тонкодисперсным пиритом; 4 — глины светло-серые с ходами илоедов; 5 — прослой тонкодисперсного пирита

тверждаемое значительной пиритовосностью темных глин и отсутствием в них донной фауны. Циркуляция таких вод в области шельфа могла служить причиной массовой гибели рыб.

Характеристика оруденения. Карагинское рудное поле разделяется одноименным поперечным поднятием на две площади: северную и южную. На северной площади расположены три главных месторождения: Меловое, Томак и Тасмурун-Ащисай, на южной — Тайбагар и Садырнын.

Во всех случаях рудные тела залегают на размытой поверхности подстилающих пород в пологих мульдах. В плане большинство залежей имеет вытянутую форму (рис. 45, 46). В продольных разрезах рудных залежей выделяются участки компактного строения с незначительным количеством промежуточных глинистых прослоев и участки расслоения залежей. Первые располагаются ближе к Карагинскому поднятию, вторые — на значительном удалении от него.

В вертикальном разрезе залежи представляют собой частое и многократное чередование обогащенных костным ураноносным детритом и сульфидами железа рудных прослоев с глинистыми безрудными прослоями. В компактных залежах мощность рудных прослоев значительно превышает таковую глинистых безрудных, в расслоенных — обратная картина. На месторождении Меловом мощность компактной части руд изменяется к западу от 0,3 до 1,7 м, далее залежь расслаивается в виде «конского хвоста», вследствие чего ее общая мощность возрастает до 8—10 м (рис. 46). На Меловом месторождении выделяются четыре основных рудных пласта.

Столько же рудных пластов выявлено и на месторождении Томак, где мощность их и залежи в целом возрастает с юго-юго-востока на северо-северо-запад от 1,5—2 до 11 м.

Вещественный состав руд. К рудам относятся слои, насыщенные костным рыбным детритом и выделяющиеся темной окраской среди более светлых нерудных глин.

Основными компонентами комплексных органогенно-фосфатных руд Мангистау являются фосфор, уран, редкоземельные элементы, скандий.

Химический состав руд месторождения Меловое следующий [26] (мас. %): SiO_2 — 23,49; TiO_2 — 0,41; Al_2O_3 — 8,53; Fe_2O_3 — 1,23; FeS_2 — 31,68; CaO — 10,38; MgO — 1,36; K_2O — 1,92; Na_2O — 0,77; P_2O_5 — 6,66; F — 0,61; SO_3 — 3,22; CO_2 — 1,42; H_2O — 2,64; ΣTR — 0,20; Co — 0,02; Ni — 0,10; Mo — 0,04; Cu — 0,03; Zn — 0,23; Pb — 0,01; Mn — 0,014; As — 0,04; V_2O_5 — 0,33; O (соотв. F) — 0,26; п. п. п. — 4,86; сумма — 99,64.

Химический состав костного детрита, выделенного из руд месторождения Мелового [26], таков (мас. %): CaO — 48,0; Fe_2O_3 — 2,00; Na_2O — 1,14; P_2O_5 — 33,74; Cl — 0,25; CO_2 — 2,40; F — 3,50; H_2O — 2,48; SO_3 — 2,28; O (соотв. F) — 1,48; п. п. п. — 4,32; сумма — 98,63; $\text{C}_{\text{орг}}$ — 2,00.

Минералогически руды представлены глинистыми минералами, сульфидами железа, остатками скелетных и покровных частей рыб, состоящих из фосфата кальция с небольшой примесью органического вещества и карбонатов кальция и магния. В качестве примесей (менее 1%) присутствуют сульфаты стронция и бария, халцедон, углистые растительные остатки.

Основным концентратором урана, редких земель, скандия и фосфора являются остатки рыб, преобладающие размеры которых 0,05—1 мм, редко до 10—15 см. Костные ячейки обычно выполнены аутигенными минералами: пиритом, кальцитом, целестином, баритом. Органическое вещество образует в основном пленку на фосфатном материале, который представлен разновидностью апатита — франколитом.

Содержание урана в костном детрите варьирует от тысячных долей до 0,5% (иногда выше). Обычно оно возрастает с уменьшением размерности детрита, повышением его ячейности («рыхлости»). Эти же закономерности распределения свойственны редкоземельным элементам и, по-видимому, скандию. Между ураном и фосфором, фосфором и суммой редкоземельных элементов установлена прямая корреляционная связь.

В составе редкоземельных элементов преобладает цериевая группа: по этому показателю руды месторождений Мангистауской группы близки к фосфоритам Сумской области (Украина) и Северного Кавказа (рис. 47).

Постоянный компонент органогенно-фосфатных залежей — сульфиды железа, главным образом пирит, подчиненное значение

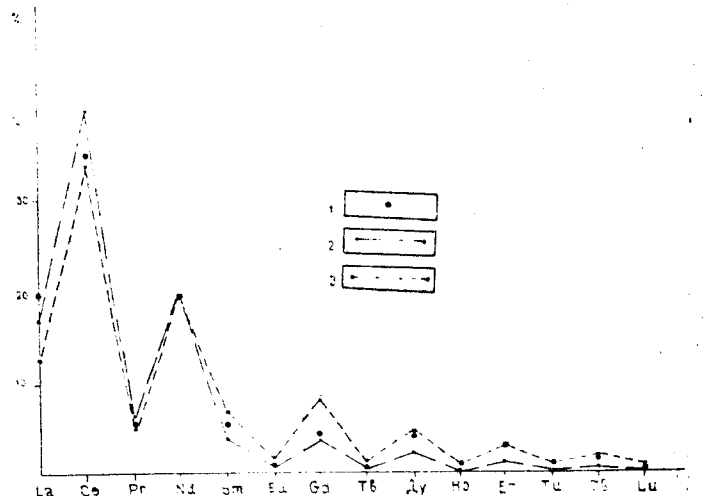


Рис. 47. Средний состав редкоземельных элементов в костном детрите месторождения Мангистау (1), осадочных фосфоритах Украины (2) и Северного Кавказа (3)

имеет марказит. Распределение их в рудах дисперсное. С сульфидной минерализацией связан целый ряд элементов, среди которых выделяются Mo , Co , Ni , отмечены также Pb , Zn , Cu , Ti . Установлены и более редкие минералы: магнетит, самородное железо, сфалерит, галенит, а также сульфиды никеля и кобальта — бравоит, виолорит, каттерит.

Основная масса руд — глинистое вещество — представлена преимущественно гидрослюдами, в качестве примесей присутствуют монтмориллонит, каолинит и бейделлит (редко более 5—10%).

Органическое вещество (2—3% рудной массы) выявлено в костном детрите рыб (15—20% всей массы органики) в виде микроскопических чешуек и обугленных растительных остатков. Его значение как концентратора металла невелико, гораздо важнее роль органического вещества как восстановителя, определяющего геохимическую специфику среды.

В рудах присутствует кальцит, а в глинах, разделяющих рудные слои, — доломит. Характерным компонентом руд являются сульфаты (целестин).

На стадии разведочных работ формы нахождения урана не были достоверно установлены. Предполагалось, что уран мог входить в решетку апатита, замещая в ней кальций, либо находиться в форме четырехвалентного фосфата, замещающего апатит.

Генезис месторождений. Доминирует представление о диагенетическом накоплении рудных компонентов в костном детрите, который накапливался в результате массовой периодической гибели рыб и последующего переотложения их остатков в пределах Кара-

гинского поднятия. Высокие концентрации урана и редкоземельных элементов в рудах связываются главным образом со способностью фосфатного вещества сорбировать и накапливать в себе эти компоненты. В качестве источника урана рассматриваются морские воды.

ЭКЗОДИАГЕНЕТИЧЕСКАЯ РУДНАЯ ФОРМАЦИЯ В ЛИГНИТОНОСНЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Небольшие месторождения и рудопроявления данной рудной формации, распространенные в Казахстане, не являются объектами промышленной добычи, хотя в других регионах (Урал, Украина) они в свое время успешно эксплуатировались методом ПВ.

В качестве самостоятельного типа экзодиагенетические месторождения впервые выделены Е. А. Головиным, который отнес их к эпигенетическим. Впоследствии В. И. Данчев и Н. П. Стрелянов [14] предложили относить к экзодиагенетическим концентрации, образованные процессами позднего диагенеза в континентальных (аллювиальных, болотно-старичных, пролювиальных) отложениях. Их не следует смешивать с собственно диагенетическими (раннедиагенетическими или синдиагенетическими) концентрациями в илах морских и озерных бассейнов. В зарубежной литературе эти рудные объекты чаще всего выделяются вслед за Н. Катаямой как «месторождения базального типа».

Экзодиагенетические концентрации формируются путем осаждения урана из кислородсодержащих вод поверхностных и подрусловых грунтовых потоков в ранее накопившихся песчано-глинистых осадках, содержащих обильный углефицированный растительный детрит. От собственно грунтово-инфильтрационных (эпигенетических) месторождений эти образования отличаются тем, что процесс рудоотложения в них близок ко времени накопления рудовмещающих отложений.

Некоторые геологические особенности экзодиагенетических месторождений и рудопроявлений

Рудные объекты рассматриваемой формации характеризуются широким возрастным диапазоном распространения.

К позднеюрско-раннемеловому времени может быть отнесен первый этап уранонакопления на рудопроявлениях в палеодолинах северной части Тургайского прогиба, а также на Семизбайском месторождении в Северном Казахстане. Вероятно, к ним следует отнести также реликтовые концентрации урана в окаменелых остатках стволов деревьев среди верхнемеловых (?) галечных отложений плато Карой на левом берегу р. Или. По нашему мнению, поздним сеноном — палеоценом можно датировать пестроцветные континентальные отложения в Сарысуйском прогибе, вмещающие

месторождение Курай и ряд рудопроявлений, выявленных при массовых поисках и специализированных работах.

С позднеолигоценно-раннемиоценовыми (?) лигнитоносными отложениями связано экзодиагенетическое оруденение Жиланшикского района Южно-Тургайской впадины. Такое же происхождение имеет, по-видимому, и оруденение месторождения Торфаного в Северо-Казахстанской рудной провинции.

Оруденение данной формации распространено в миоценовых палеодолинах Казахского щита, где оно локализовано в базальных песчаных отложениях аральско-павлодарского комплекса (месторождения Гранитное, Талас, рудопроявления Снежное, Светлое, Дарат и др.).

Довольно многочисленные экзодиагенетические рудопроявления урана известны в позднеплиоценово-четвертичных лигнитоносных отложениях и торфяниках (месторождения Барс и рудопроявления) в пойменно-старичных торфяниках р. пра-Чу и др.

Анализ формационной принадлежности оруденения объектов рассматриваемого типа показывает, что многие из них связаны с пестроцветными формациями, часть локализуется в отложениях сероцветной песчано-глинистой лигнитоносной формации. Следовательно, диапазон климатических обстановок, в которых формируется оруденение, достаточно широк. Наиболее благоприятными, видимо, следует считать условия переходных (умеренных) типов климата, которые, с одной стороны, обуславливают возможность развития достаточно обильных поверхностных и грунтовых водотоков и миграцию урана в окислительной среде, а с другой — способствуют образованию геохимически дифференцированного разреза, в котором значительную роль должны играть отложения серо- и темноцветного (углистого) геохимических типов.

Структурно-тектоническая позиция объектов данной рудной формации характеризуется преобладающим их размещением в прибрежных частях крупных синеклиз, т. е. в областях с активным аллювиальным стоком. Целый ряд объектов расположен в палеодолинах регионального сводового поднятия Казахского щита. Оруденение в позднеплиоценово-четвертичных отложениях находится в различных областях современной геотектонической зональности: от межгорных впадин Тянь-Шаня до районов новейшей платформы (месторождение Барс в Чу-Сырдарьинской депрессии).

Характеристика оруденения. В отложениях аллювиальных палеодолин рудные залежи обычно представлены линзами, вытянутыми по направлению потоков (рис. 48). Протяженность линз — десятки и первые сотни метров, ширина — несколько десятков метров, мощность — десятки сантиметров, редко более 1 м. Усложнение морфологии залежей наблюдается в случаях наложения более поздних грунтовых или грунтово-пластовых окислительных процессов, в результате которых происходит переотложение оруденения, иногда с образованием роллоподобных форм. В тех случаях, когда рудоносные слои подстилаются домезозойскими породами с разви-

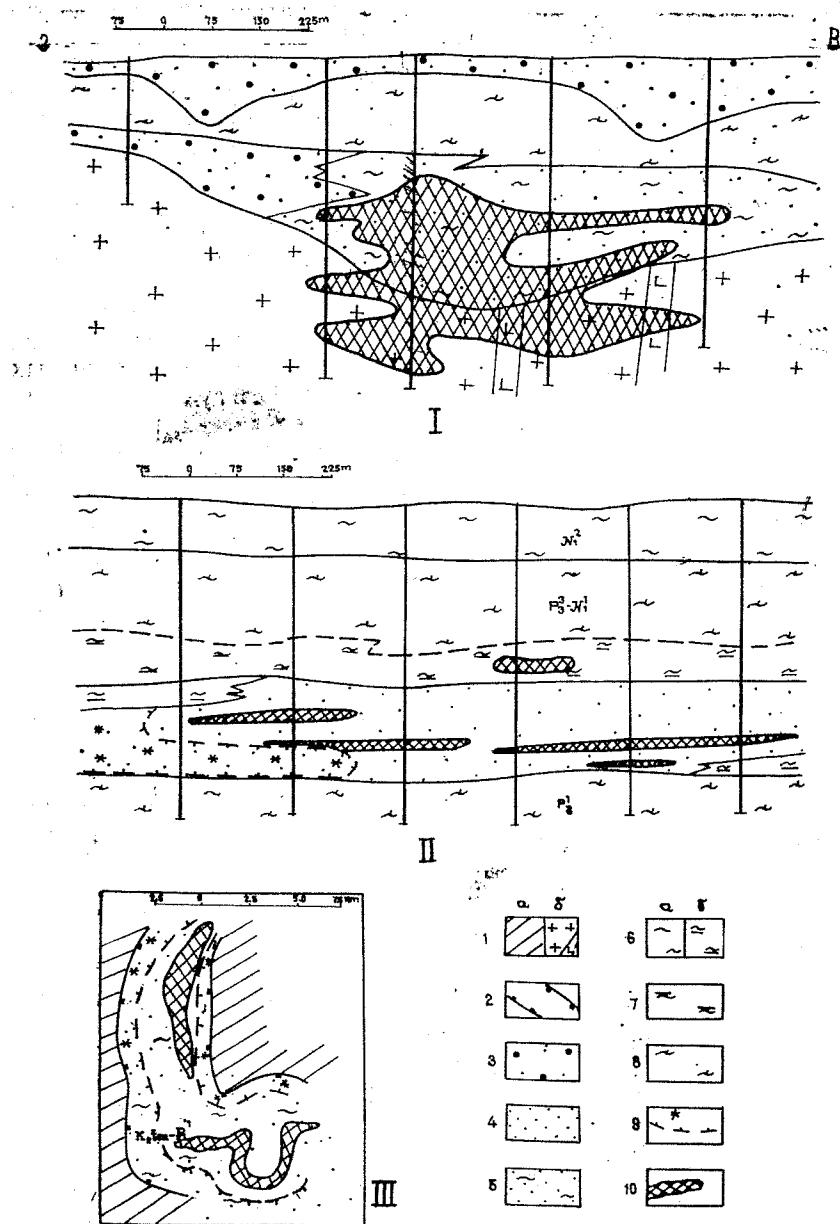


Рис. 48. Локализация уранового оруденения экзоэпигенетической рудной формации в песчано-глинистых отложениях месторождений Гранитное (I), Лазаревское (II), Курай (III): 1 — домезозойские образования: а — нерасчлененные, б — гра-

той корой выветривания, оруденение может переместиться в нее, как это имеет место на месторождении Гранитном (рис. 48).

В распределении оруденения решающую роль играет литолого-геохимический фактор. Одной из особенностей экзоэпигенетических месторождений, отличающих их от месторождений региональных ЗПО, является локализация оруденения преимущественно в глинистых породах (обычно на границе с песками). Случаи локализации оруденения в песках, как правило, связаны с эпигенетическим перераспределением металла.

Оруденение отчетливо контролируется углистым (темноцветным) и сероцветным типами пород, а в их пределах — характером распределения углистого вещества, присутствующего либо в виде тонкорассеянного детрита в глинистых песках и алевролитах, либо в форме углисто-глинистых (лигнитовых) прослоев и торфов, где $C_{орг}$ составляет 10—27% (месторождения Лунное и Лазаревское в Торгае). Часто от содержания углистого вещества зависят и концентрации урана, варьирующие от тысячных и сотых долей до 0,2—0,4%. Максимальные значения свойственны наиболее обогащенным органическим веществом прослоям, перекрытым песчаными отложениями. В таких случаях в рудах устанавливается урановая минерализация (оксиды урана и коффинит). Из элементов-спутников отмечаются спорадические аномальные повышения Mo, Se (0,01—0,1% на месторождении Курай), V (Барс), Co, Ni, Pb, Cu.

Заслуживают внимания особенности локализации оруденения по отношению к границам зон окисления. В большинстве случаев эти границы оруденением не сопровождаются. Очень часто максимальные концентрации урана приурочены к обогащенным углистым веществом неокисленным породам вне зоны контакта с границами окисления, которые в отличие от границ рудоконтролирующих региональных зон пластового окисления, выглядят неотчетливыми, «размытыми».

Итак, рудным объектам экзоэпигенетической формации свойственны: 1) широкий диапазон стратиграфических, климатических и геотектонических обстановок образования и размещения; 2) локально-линзовидный характер морфологии рудных залежей и расположение их в виде прерывистых рудоносных зон, ориентированных по направлению речных палеопотоков; 3) существенно глинистый состав руд и крайне неравномерное распределение в них металла, которое регулируется размещением пород, обогащенных органическим растительным веществом; 4) практически повсеместное перераспределение оруденения в результате эпигенетических процессов грунтового и грунтово-пластового окисления.

ниты, дайки основного состава; 2 — современные контуры палеодолин (в плане); 3 — гравийно-песчаные отложения; 4 — пески; 5 — пески глинистые; 6 — глины; 7 — алевролиты глинистые; 8 — глины известковистые; 9 — зоны грунтового и грунтово-пластового окисления (а) и их границы (б); 10 — урановое оруденение

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный в настоящей работе материал позволяет составить представление о том, насколько велика и разнообразна урановая минерально-сырьевая база Казахстана. Это обусловлено особенностями геотектонической позиции территории республики, специфической геологической развития, богатством геолого-структурных обстановок. Промышленные месторождения урана, составляющие рудные районы и провинции, установлены в самых различных по возрасту и структурно-формационной принадлежности комплексах.

В домезозойских образованиях Казахской складчатой области и отрогов Тянь-Шаня располагаются соответственно Северо-Казахстанская и Кендыктас-Чу-Или-Бетпак-Далинская урановорудные провинции с удивительно разнообразным набором гидротермальных месторождений.

В угленосных терригенных отложениях триасово-юрских депрессионных структур (раннеальпийский СФК) локализованы крупные грунтово-инфильтрационные ураноугольные и пластово-инфильтрационные («песчаниковые») месторождения Илийской урановорудной провинции.

В водоносных песчаных горизонтах мел-палеогенового (среднеальпийского) СФК размещаются эпигенетические пластово-инфильтрационные и урановые месторождения региональных зон пластового окисления Чу-Сарысуйской и Сырдарьинской урановорудных провинций, составляющих одну из крупнейших в мире Восточно-Туранскую мегапровинцию.

Наконец, в толще олигоценых морских глин на п-ове Мангистау расположен одноименный урановорудный район с уникальным фосфатно-органогенным типом комплексных месторождений, связанных с горизонтами ураноносных костных остатков рыб.

Помимо отмеченных урановорудных территорий к настоящему времени выявлено значительное число рудных и ураноносных районов и отдельных объектов (в том числе иных генетических типов), находящихся ныне в резерве, которые в будущем могут быть использованы в целях восполнения существующей сырьевой базы.

В этом отношении показательна эволюция урановой сырьевой базы в Казахстане. С 50-х до 70-х гг. ее основу составляли локализованные в домезозойских образованиях гидротермальные месторождения, за счет которых главным образом происходило ее развитие и восполнение. Определенную роль играли также месторождения органогенно-фосфатного типа на п-ове Мангистау. Другие экзогенные месторождения (ураноугольные, пластово-инфильтрационные в проницаемых водоносных горизонтах мела и палеогена) из-за отсутствия приемлемой технологии не эксплуатировались.

С начала 70-х гг., с внедрением нового прогрессивного способа отработки обводненных месторождений — подземного выщелачивания, начались интенсивные поиски, разведка и вовлечение в экс-

плуатацию пластово-инфильтрационных месторождений, крупных и уникальных по масштабам, с убогими, бедными и рядовыми рудами. Структура урановой сырьевой базы Казахстана стала неуклонно изменяться в пользу месторождений данного типа, характеризующихся высокой конкурентоспособностью. К началу 90-х гг. основу урановой сырьевой базы составили пластово-инфильтрационные месторождения региональных ЗПО. Гидротермальные месторождения в домезозойских образованиях постепенно переводятся на консервацию по причинам экономического и особенно экологического характера. Кроме того, в последние годы резко возросли требования к рентабельности месторождений, вовлекаемых в отработку. В связи с этим максимальный интерес стали вызывать месторождения комплексных руд, содержащих помимо урана другие ценные попутные компоненты. Стоимость урана, добываемого методом ПВ на эпигенетических пластово-инфильтрационных месторождениях, существенно ниже стоимости урана, добываемого горным способом из большинства гидротермальных месторождений.

Особое значение в настоящее время приобрела проблема негативного техногенного воздействия на окружающую среду в результате эксплуатации месторождений. В этом отношении метод ПВ обладает рядом преимуществ перед горным способом. Специалистами однозначно установлено, что возможное загрязнение пластовых вод при подземном выщелачивании может возникнуть вследствие нарушения технологии проведения работ. Существующие меры очистки и рекультивации природной среды при условии соблюдения всех правил эксплуатации обеспечивают его экологическую безопасность.

Именно экологические аспекты выступают на первое место при оценке возможности эксплуатации в Илийской урановорудной провинции крупных ураноугольных месторождений — Нижнеилийского и Кольджатского, которые в настоящее время находятся в резерве. Думается, что разработка экологически безопасной технологии позволит в будущем вовлечь в эксплуатацию и эти крупные комплексные объекты энергетического и редкометалльного сырья.

В настоящее время Казахстан обладает одной из крупнейших в мире урановорудной сырьевой базой, которая не только позволяет полностью обеспечить внутренние потребности даже при условии максимальных программ развития собственной атомной энергетики, но и выводит республику в ряд наиболее крупных потенциальных поставщиков урана на мировой рынок.

При этом следует подчеркнуть, что, несмотря на то, что фонд залегающих в благоприятных обстановках и особенно легко открываемых урановых месторождений существенно сократился, перспективы восполнения и наращивания минерально-сырьевой базы в Казахстане достаточно велики. Это относится как к эпигенетическим пластово-инфильтрационным месторождениям, эксплуатируемым способом ПВ, так и к месторождениям других генетических типов.

CONCLUSION

The material represented in this work allows to form the conception how great and diverse is the uranium mineral raw-material base of Kazakstan. It is stimulated by features of geotectonic position of the Republic territory, by geological development specification, and the geological-structural situations. Industrial uranium deposits representing ore areas and provinces determined in complexes are very different on age and structural-formation condition.

In pre-Mesozoic formations of Kazak folded region and Tyan-Shan spurs there are North-Kazakstan and Kendyktas-Chu-Ily-Betpak-Dalinskaya uranium-ore provinces with great diverse set of hydrothermal deposits.

In coal-bearing terrigenous sediments of trias-jurassic structures (early-alpiiski structural formation complex) there are located large ground-infiltration uranium-coal and stratum-infiltration («sandy-stone») deposits of Ily uranium-ore province.

In water-bearing sandstone horizons of Chalk-Paleogenic (middle-Alpiiski) there are located epigenetic stratum-oxidation and uranium deposits of regional stratum oxidation zones of Chu-Sarysuiskaya and Syr-Daryinskaya uranium-ore provinces which are one of the largest East-Turan megaprovince.

At last, in thickness of Oligocene sea clays at Mangistau peninsula there is located uranium-ore region of the same name with unique phosphate organogenous type of complex deposits connected with the horizons of uraniferous bone fish remainders.

To the present time, apart from marked uranium-ore territories, significant number of ore and uraniferous regions and separate objectives are discovered (including the ones with other genetic types) which are in reserve now and which will be used in future for filling in the present raw-material base.

Nowadays Kazakstan is in possession of one of the largest uranium-ore raw-material base in the world which allows to provide completely internal requirements even under the conditions of maximal programs on atomic energy development, and also puts the Republic into the range of the largest potential uranium suppliers to the world market.

One should emphasize that, despite the fond of uranium deposits is significantly decreased, the perspectives of filling in and raising of raw-material base are great enough. It is in respect of epigenetic stratum oxidation deposits exploited by ISL method and of the deposits of other genetic types.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулин А. А. Геология и минеральные ресурсы Казахстана. Алматы: Гылым, 1994. 399 с.
2. Аубакиров Х. Б., Максимова М. Ф. Редкие и рассеянные элементы на урановом месторождении Торткудук // Матер. по геол. месторожд. урана, редких и редкоземельных металлов. М., 1990. Вып. 124. С. 37—50.
3. Бельский Г. А. Геологическое строение Приташкентских Чулей. Ташкент, 1961. Вып. 181.
4. Белозеров В. Г., Григорьев В. Н., Лухтин В. Ф. и др. Илийская урановорудная субпровинция // Металлогения урана Урало-Монгольского пояса. Л., 1986. С. 66—75.
5. Боголепов К. В. Материалы по мезозойской тектонике Восточного Тянь-Шаня и прилегающих областей Джунгарии и Тянь-Шаня // Тектоника мезозойского орогенного пояса Центральной Азии. Новосибирск: Наука, 1973. С. 114—148.
6. Бувалкин А. К. Юрские отложения Восточного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1978. 167 с.
7. Гарецкий Р. Г. Тектоника меловых платформ Евразии. М.: Наука, 1972. 299 с.
8. Геологическое строение и ураноносность Чу-Сарысульской провинции / Под ред. Г. В. Грушевого. Л., 1980. 180 с.
9. Геология СССР. М.: Недра, 1972. Т. 20 Центральный Казахстан. Кн. 1. Геологическое описание. 532 с.
10. Геология СССР. М.: Недра, 1971. Т. 40. Южный Казахстан. Кн. 1, 2.
11. Гидрогенные месторождения урана: (основы теории образования) / Под ред. А. И. Перельмана. М.: Атомиздат, 1980. 270 с.
12. Глубинное строение и вопросы металлогении Восточного Казахстана / А. А. Смыслов, М. Г. Харламов, Ю. И. Сытин и др. Л.: Недра, 1983. 153 с.
13. Грушевой Г. В. Закономерности локализации уранового оруднения в чехле молодых платформ // Основные проблемы уранового рудообразования. М., 1987. С. 48—51.
14. Данцев В. И., Стрелянов Н. П. Экзогенные месторождения урана. М.: Атомиздат, 1979.
15. Жемчужников Ю. А. Периодичность осадконакопления и понятие ритмичности и цикличности // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1955. Т. 30, № 3.
16. Казанский В. И., Лавров Н. П., Тугаринов А. И. Эволюция уранового рудообразования. М.: Атомиздат, 1978. 208 с.
17. Карпова Е. Д. Металлогения областей тектоно-магматической активизации // Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1973. Т. 191. С. 63—101.
18. Кассин Н. Г. Материалы по палеогеографии Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1974. 256 с.
19. Каширцева М. Ф. Методы изучения эпигенетических изменений в рыхлых осадочных породах. М.: Недра, 1970. 153 с.
20. Кисляков Я. М., Успенский В. А. Рудоконтролирующая эпигенетическая

- зональность на урано-угольных месторождениях // Матер. по геол. уран. месторожд. М., 1981. Вып. 69. С. 78—89.
21. Костенко Н. Н. Основные черты неотектонических движений в Казахстане // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1979. № 1. С. 26—30.
22. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1977. 184 с.
23. Лаверов Н. П., Смирнов А. О., Шумилин М. В. Зарубежные месторождения урана. М.: Недра, 1983. 320 с.
24. Лисицын А. К. Гидрогеохимия рудообразования: (на примере экзогенных эпигенетических урановых руд). М.: Недра, 1975. 248 с.
25. Максимова М. Ф., Аубакиров Х. Б. Концентрации редких и рассеянных элементов в инфильтрационном месторождении // Сов. геология. 1992. № 5. С. 3—11.
26. Месторождения в майкопских отложениях Мангышлака / Р. В. Нифонтов, А. В. Коченов, А. П. Полушкина и др. // Месторождения урана СССР. М., 1967. Т. 2, вып. 1. Осадочные месторождения.
27. Металлогения урана континентальных блоков земной коры / Под ред. Ю. М. Шувалова. Л.: Недра, 1980.
28. Михайлов В. В., Петров Н. Н., Цалюк Ю. П. Геолого-геохимическая интерпретация свинцово-изотопных исследований на эпигенетических урановых месторождениях Южного и Юго-Восточного Казахстана // Матер. по геол. уран. месторожд. М., 1985. Вып. 95. С. 57—66.
29. Муратов М. В. Урало-Монгольский пояс // Тектоника Урало-Монгольского пояса. М.: Наука, 1974. С. 5—11.
30. Наумов Г. Б., Коченов А. В., Герасимовский В. И., Германов А. И. Уран в осадочных породах // Основные черты геохимии урана. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 238—289.
31. Никитин Е. А. и др. Стратиграфия меловых и палеогеновых отложений Западной Бетпакалы // Матер. по геол. и полезным ископ. Южного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1971.
32. Основные геологические особенности и условия образования промышленных урано-угольных месторождений Южного Казахстана и Северной Киргизии / В. Г. Белозеров, В. Н. Григорьев, В. Л. Лухтин и др. // Матер. по геол. уран. месторожд. М., 1981. Вып. 69. С. 4—17.
33. Патаха Е. И. Геодинамика Восточно-Казахстанского сегмента земной коры на мезозойском этапе // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1977. № 12. С. 63—72.
34. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 288 с.
35. Перельман А. И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
36. Петров Н. Н., Поломошнов А. Д., Гречкин Г. С. Ураноносность мезозойских и кайнозойских отложений в обрамлении Каратау // Геологические особенности ураноносных районов СССР. Л., 1970. Вып. II. С. 259—263.
37. Петров Н. Н. История формирования эпигенетического уранового оруденения Притяньшаньского урановорудного пояса в свете новых данных // Матер. по геол. уран. месторожд. М., 1985. Вып. 96. С. 99—114.
38. Петров Н. Н. Чу-Сарысульская урановорудная провинция // Металлогения урана Урало-Монгольского пояса. Л., 1986. С. 66—75.
39. Петрова Л. С., Дара А. Д. Минералогическая зональность урановых месторождений пластово-инфильтрационного генезиса на примере месторождения Мынкудук // Матер. по геол. уран. месторожд. М., 1981. Вып. 69. С. 124—134.
40. Пигульский Б. И. Геологические предпосылки образования экзогенного уранового оруденения в средне-верхнепалеозойских и мезокайнозойских осадочных образованиях Северного Казахстана // Матер. по геол. уран. месторожд. М., 1973. Вып. 25.
41. Пластово-инфильтрационные месторождения урана как объекты комплексного минерального сырья / Б. И. Натальченко, К. Г. Бровин, Е. М. Шмариович и др. // Матер. по геол. уран. месторожд. М., 1987. Вып. 107. С. 4—17.
42. Промышленные типы урановых месторождений и методика их поисков / Ю. М. Шувалов, С. В. Бузовкин, А. В. Булычев и др. Л.: Недра, 1984. 263 с.
43. Рафальский Р. П. К проблеме переноса урана гидротермальными растворами // Основные проблемы уранового рудообразования. М., 1987.
44. Рыбалов Б. Л., Мельников Н. В. Об условиях формирования урановых месторождений // Геол. рудных месторожд. 1991. № 6.
45. Смыслов А. А. Геохимические эпохи и провинции и их металлогенетическая специализация // Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1975. Т. 241. С. 5—18.
46. Справочник геолога по поискам и разведке месторождений урана / Под ред. Н. П. Лаверова. М.: Недра, 1989. 172 с.
47. Стратиграфический кодекс СССР. Л.: Недра, 1977. 79 с.
48. Сырдарьинская урановорудная провинция / Под ред. Е. М. Шмариовича М., 1985. 413 с.
49. Тамм Ож. К., Ковшак А. А., Адамс С. С. (мл.) Геологические особенности и поисковые критерии песчаных урановых месторождений типа Солт-Уош, провинция плато Колорадо: (окончательный отчет, 1981) // Матер. по геол. уран. месторожд. зарубежных стран. М., 1984. Вып. 31. С. 189—274.
50. Унифицированные и корреляционные стратиграфические схемы мезозоя, палеогена и неогена Казахстана. Алма-Ата, 1971. 79 с.
51. Ураноносность Северного Казахстана / С. С. Наумов, Г. П. Полушкин, Ю. Л. Бастриков и др. // Металлогения урана Урало-Монгольского пояса. Л., 1986. С. 36—55.
52. Чу-Или-Кендыктасская субпровинция / И. Я. Бабкин, Б. В. Бровин, В. Л. Гончаров, М. Я. Дара // Металлогения урана Урало-Монгольского пояса. Л., 1986. С. 61—66.
53. Шмариович Е. М., Расулова С. Д., Яшунский Ю. В. Причины различных окрасок пород в рудоконтролирующих зонах пластового окисления // Матер. по геол. уран. месторожд. М., 1987. Вып. 107. С. 50—61.
54. Шмариович Е. М., Натальченко Б. И., Бровин К. Г. Условия формирования комплексного пластово-инфильтрационного оруденения // Сов. геология. 1988. № 8.
55. Экзогенные эпигенетические месторождения урана: условия образования / Под ред. А. И. Перельмана. М.: Атомиздат, 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА (А. А. Абдулин)	5
ВВЕДЕНИЕ (В. Г. Язиков, Н. Н. Петров, В. Н. Плеханов)	9
Глава 1. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ УРАНОВОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ КАЗАХСТАНА (В. Н. Плеханов, Н. Н. Петров)	12
Глава 2. УРАНОНОСНОСТЬ ДОМЕЗОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ КАЗАХСТАНА (Н. Н. Петров)	21
Некоторые общие черты металлогении домезозойских структурно-формационных комплексов	21
Важнейшие урановорудные районы и месторождения	27
Северо-Казахстанская урановорудная провинция	27
Кендыктас-Чу-Или-Бетпак-Далинская урановорудная провинция	30
Глава 3. УРАНОНОСНОСТЬ МЕЗОЗОЙСКО-КАИНОЗОЙСКИХ ФОРМАЦИЙ	35
Главные особенности геологического строения и истории формирования мезозойско-кайнозойских комплексов (Н. Н. Петров)	35
Основные типы уранового оруденения в мезозойско-кайнозойских депрессионных структурах (Н. Н. Петров)	39
Эпигенетическая урановорудная формация региональных зон пластового окисления (Н. Н. Петров, Х. Б. Аубакиров, В. Н. Плеханов, В. Г. Язиков, А. Ф. Вершков)	42
Чу-Сарысуйская урановорудная провинция	45
Месторождения в позднемеловых отложениях (Кенце-Буденновская металлогеническая зона)	70
Месторождение Мынкудук	70
Месторождение Инкай	93
Месторождение Жалпак	102
Месторождения в палеогеновых отложениях (Уванас-Канжуганская металлогеническая зона)	114
Месторождение Уванас	114
Канжуганский урановорудный район	128
Сырдарьинская урановорудная провинция	159
Основные особенности геологического строения, гидрогеологии и ураноносности провинции	159
Месторождения в позднемеловых отложениях (Карамурун-Карактауская металлогеническая зона)	171
Карамурунский урановорудный район	171
Карактауский урановорудный район. Месторождение Заречное	181
Месторождения в палеогеновых отложениях (Кызылколь-Приташкентская металлогеническая зона)	187
Кызылколь-Чаянский урановорудный район	187
Среднеилийский урановорудный район в Илийской урановорудной провинции	192
Месторождение Сулучекинское	192
Некоторые общие черты и условия размещения пластово-инфильтрационных месторождений Казахстана (Н. Н. Петров)	203
Основные этапы формирования месторождений региональных ЗПО (Н. Н. Петров)	209
Эпигенетическая урановорудная формация зон грунтового и грунтово-пластового окисления в угленосных терригенных образованиях (субформация ураноугольных месторождений) (В. Ф. Лухтин)	212
Илийская урановорудная провинция	212
Кольджатское месторождение	215

Нижнеилийское месторождение	226
Условия размещения и основные этапы формирования оруденения ураноугольных месторождений	235
Другие типы урановорудных формаций (Н. Н. Петров)	243
Синдиagenетическая урановорудная формация в терригенных отложениях	243
Субформация урановых месторождений органогенно-фосфатного типа	245
Особенности геологического строения Прикаспийского района	245
Экзодиагенетическая рудная формация в лигнитоносных терригенных отложениях	252
Некоторые геологические особенности экзодиагенетических месторождений и рудопроявлений	252
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (Н. Н. Петров, В. Г. Язиков, В. Н. Плеханов)	256
ЛИТЕРАТУРА	259

CONTENTS

EDITOR'S REMARK (A. A. Abdulin)	5
INTRODUCTION (V. G. Yazikov, N. N. Petrov, V. N. Plekhanov)	9
Chapter 1. SHORT INFORMATION ABOUT THE HISTORY OF THE URANIUM MINERAL RAW-MATERIAL BASE CREATING (V. N. Plekhanov, N. N. Petrov)	12
Chapter 2. KAZAKSTANI PRE-MESOZOIC FORMATIONS URANIFERROUS ACTIVITY (N. N. Petrov)	21
Some common features of metallogeny of Pre-Mesozoic structure and formation complexes	21
The most important uranium ore regions and deposits	27
North-Kazakstani uranium ore province	27
Kendykhtas-Chuily-Batpakdalinskaya uranium ore province	30
Chapter 3. MESOZOIC AND CAINOZOIC FORMATIONS URANIFERROUS ACTIVITY	35
The main features of geological structure and history of forming Mesozoic and Cainozoic structure and formation complexes (N. N. Petrov)	35
The main types of uranium mineralization in Mesozoic and Cainozoic depression structures (N. N. Petrov)	39
Epigenetic uranium ore formation of stratum oxidation regional zones (N. N. Petrov, H. B. Aubakirov, V. F. Lukhtin, B. N. Plekhanov, V. G. Yazikov, A. F. Vershkov)	42
Chu-Sarysuisкая uranium ore province	45
The deposits in later chalk sediments (Kentse-Budenovskaya metallogenic zone)	70
Minkuduk deposit	70
Inkai deposit	93
Zhalpak deposit	102
Deposits in Paleogenic sediments (Uvanas-Kanzhuganskaya metallogenic sone)	114
Uvanas deposit	128
Kanzhuganski uranium ore region	159
Syr-Daryinskaya uranium ore province	159
The main features of geological structure, hydrogeology and uraniferous activity of the province	159
Deposits in later chalk sediments (Karamurun-Karaktauskaya metallogenic zone)	171
Karamurunski uranium ore region	171
Karaktauski uranium ore region Zarechnoye deposit	181

Deposits in paleogenic sediments 'Kizilkol-Pritashkentskaya metallo- genic zone)	187
Kizilkol-Chayanski uranium ore region	187
Sredneilyiski uranium ore region in Ilyiskaya uranium ore province.	192
Suluchekinskoye deposit	192
Some common features and conditions of location of stratum and infiltration deposits of Kazakstan (<i>N. N. Petrov</i>)	203
The main stages of forming of stratum oxidation regional zones deposits (<i>N. N. Petrov</i>)	209
Epigenetic uranium ore formation of ground and ground-stratum oxidation zones in coal-terrigene formations. Subformation of uranium ore depotist (<i>V. E. Lukhtin</i>)	212
Ilyiskaya uranium ore province	212
Koldzhatskoye deposit	215
Nizhne-Ilyiskoye deposit	226
Conditions of location and main stages of forming of uranium coal de- posits mineralization	235
Other types of uranium ore formations (<i>N. N. Petrov</i>)	243
Sindyagenetic uranium ore formation in terrigenous sediments	243
Subformation of organogenic-phosphate uranium deposits	245
Features of Prikaspiiski region geological structure	245
Exodiagenetic ore formation in lignitobearing terrigenous sediments.	252
Some geological features of exodiagenetic deposits and mining groups	252
CONCLUSION (<i>N. N. Petrov, V. G. Yazikov, V. N. Plekhanov</i>)	256
LITERATURE	259

Научное издание

Петров Николай Николаевич,
Язиков Виктор Григорьевич,
Аубакиров Халел Батталович и др.

УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЗАХСТАНА: (ЭКЗОГЕННЫЕ)

Утверждено к печати
Научно-техническим советом НАК КАТЭП

Редактор Т. Е. Каткова. Художественный редактор В. А. Ващенко.
Технический редактор Л. И. Конькова

Н/к

Сдано в набор 11.07.95. Подписано в печать 24.10.95.
Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 2. Печать высокая.
Усл. п. л. 16,5. Усл. кр.-отт. 16,5. Уч.-изд. л. 19,58.
Тираж 500. Заказ 73.

НИЦ «Гылым» НАН РК
480100, Алматы, ул. Пушкина, 111/113
Типография НИЦ «Гылым» НАН РК
480021, Алматы, ул. Шевченко, 28

