

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

Том II

**ГЕОЛОГИЯ УРАНА,
ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

Москва
2011

УДК 504.0
ББК 26.2
Г35

Экстремальные природные явления и катастрофы : в 2 т. / Отв. ред. А.О. Глико;
ИФЗ РАН. – М. : ИФЗ РАН, 2010; 2011.

ISBN 978-5-91682-012-6

Г35 Т. 2 : **Геология урана, геэкология, гляциология** / Отв. ред. В.М. Котляков, ИГ РАН;
отв. сост. А.Л. Собисевич, ИФЗ РАН; – М. : ИФЗ РАН, 2011.

ISBN 978-5-91682-014-0

Во втором томе коллективной монографии изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с изучением актуальных проблем современной геологии урановых месторождений, геэкологии и гляциологии, имеющих целью обеспечение безопасности населения и важных промышленных объектов на территории Российской Федерации. Анализируются основные промышленно-генетические типы урановых месторождений; рассмотрены новые прогрессивные технологии добычи радиоактивных материалов; изучено поведение актинидов в условиях долгосрочного хранения и захоронения отработанного ядерного топлива. Полученные научные результаты отражают современные проблемы безопасности атомной энергетики.

Приведены новые научные данные, связанные с изучением эволюции Антарктического и арктических ледниковых покровов, от состояния которых зависит уровень Мирового океана. Достаточно внимания уделено геэкологическим проблемам Северного Кавказа. Анализируются уникальные данные, полученные при проведении глубокого кернового бурения ледника на Западном плато вулканической постройки Эльбруса.

Изучены наиболее опасные геэкологические процессы на территории РФ, которые могут привести к гибели людей, ранениям и потере здоровья, а также к значительным материальным ущербам; разработан специальный ГИС-проект, который является готовым к использованию продуктом со всеми элементами, присущими автоматизированной информационной системе специального назначения, содержащей развернутые базы данных.

Полученные новые научные результаты и разработанные технологии уже востребованы на практике.

Для специалистов в области наук о Земле, строительства и чрезвычайных ситуаций.

УДК 504.0
ББК 26.2

The Volume II of the collective monograph presents the results of both theoretical and experimental studies of actual problems of modern geology of uranium deposits, geoecology and glaciology in order to mitigate issues on public safety and potentially hazardous industrial facilities and consequent risks on the territory of Russian Federation. Primary types of industrial uranium ore deposits are analysed, new progressive technologies of prospecting of radioactive materials are considered, the behaviour of actinides in long-time storages and nuclear waste burial sites are studied. The results obtained represent modern safety problems of nuclear power engineering.

New scientific data related to evolution of glaciers in Arctic and Antarctica governing the global level of world ocean are presented. Specific attention is paid to geoecological problems in Northern Caucasus. Genuine data gathered in the course of deep core drilling on the Western plateau of the Elbrus volcano.

Most significant hazardous geoecological processes on the territory of Russian Federation, threatening populated areas in terms of human health and injury, substantial property damage are studied. The specialized geographical information system (GIS) is the database driven product with high level of automation and it has been developed in frames of the actual research initiative.

The new fundamental scientific results obtained and the new technologies developed are of particular interest for practical applications.

The book will satisfy the needs of specialists in Earth sciences, industrial construction applications and hazard assessment.

ISBN 978-5-91682-014-0
ISBN 978-5-91682-012-6

© Российская академия наук, 2011
© Коллектив авторов, 2011

ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЫВШЕГО СССР И РОССИИ

¹ Учреждение Российской академии наук Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

² ФГУП «Урангеко»

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие в СССР атомной промышленности, обусловленное важностью проблемы надежного обеспечения страны собственными ресурсами урана, предопределило высокий уровень научных и практических разработок в области прогноза, поисков, разведки и комплексных геологических исследований урановых месторождений. Усилиями производственных и научных коллективов в стране была создана крупнейшая в мире сырьевая база урана. Выявлены новые, неизвестные в мире генетические типы уранового оруденения, установлены закономерности размещения урановых месторождений, детально изучены условия их формирования. Результаты этих исследований, значение которых нередко выходило далеко за рамки «урановой геологии», нашли отражение в большом числе публикаций, и в том числе в ряде сборников и монографий, изданных в разные годы под редакцией Д.И. Щербакова, Ф.И. Вольфсона, Н.П. Лаверова [Геология..., 1966, 1968; Гидротермальные..., 1978; Лаверов и др., 1986].

В представленных материалах охарактеризованы основные промышленно-генетические типы урановых месторождений бывшего СССР, рассмотрено состояние сырьевой базы урана на начало 90-х годов, а также оценен современный урановорудный ресурсный потенциал России.

Советский Союз обладал крупнейшими в мире запасами урана в недрах, которые по данным геологоразведочных работ оценивались в 1200 тыс. т. Прогнозные ресурсы составляли около 800 тыс. т.

Рассматриваемые ниже урановые месторождения принадлежат трем сериям: эндогенной, экзогенной и полигенной. Каждая серия объединяет месторождения нескольких промышленно-генетических типов, перечень которых приведен в таблице.

В структуре сырьевой базы урана СССР месторождения эндогенной серии составляли около 60 %. На долю урановорудных объектов экзогенной серии приходилось примерно 40 %, а месторождения полигенной серии в общей структуре минерально-сырьевой базы урана не играли заметной роли.

Урановые месторождения неравномерно размещены на территории бывшего СССР. Главная их часть сосредоточена в пределах южных окраин древних платформ – Восточно-Европейской и Сибирской, в микроконтинентах Центрально-Азиатского и Монголо-Охотского складчатых поясов, а также в породах чехла эпигерцинских платформ Средней

Таблица. Промышленно-генетические типы урановых месторождений СССР

Серии, типы (подтипы)
<i>Эндогенная серия</i>
1. Месторождения прожилково-вкрашенных руд, связанные с щелочными метасоматитами в разломах подкорового заложения
2. Месторождения прожилково-вкрашенных, штокверковых руд, ассоциирующие с континентальными вулканическими комплексами
<i>Экзогенная серия</i>
3. Пластово-инфилтратационные экзогенно-эпигенетические месторождения в артезианских бассейнах и палеодолинах
4. Стратиформные седиментационно-диагенетические месторождения ураноносного костного детрита
<i>Полигенная серия</i>
5. Стратиформные и штокверковые месторождения в ураноносных углеродистых сланцах
6. Пластовые и штокверковые месторождения, приуроченные к структурно-стратиграфическим несогласиям

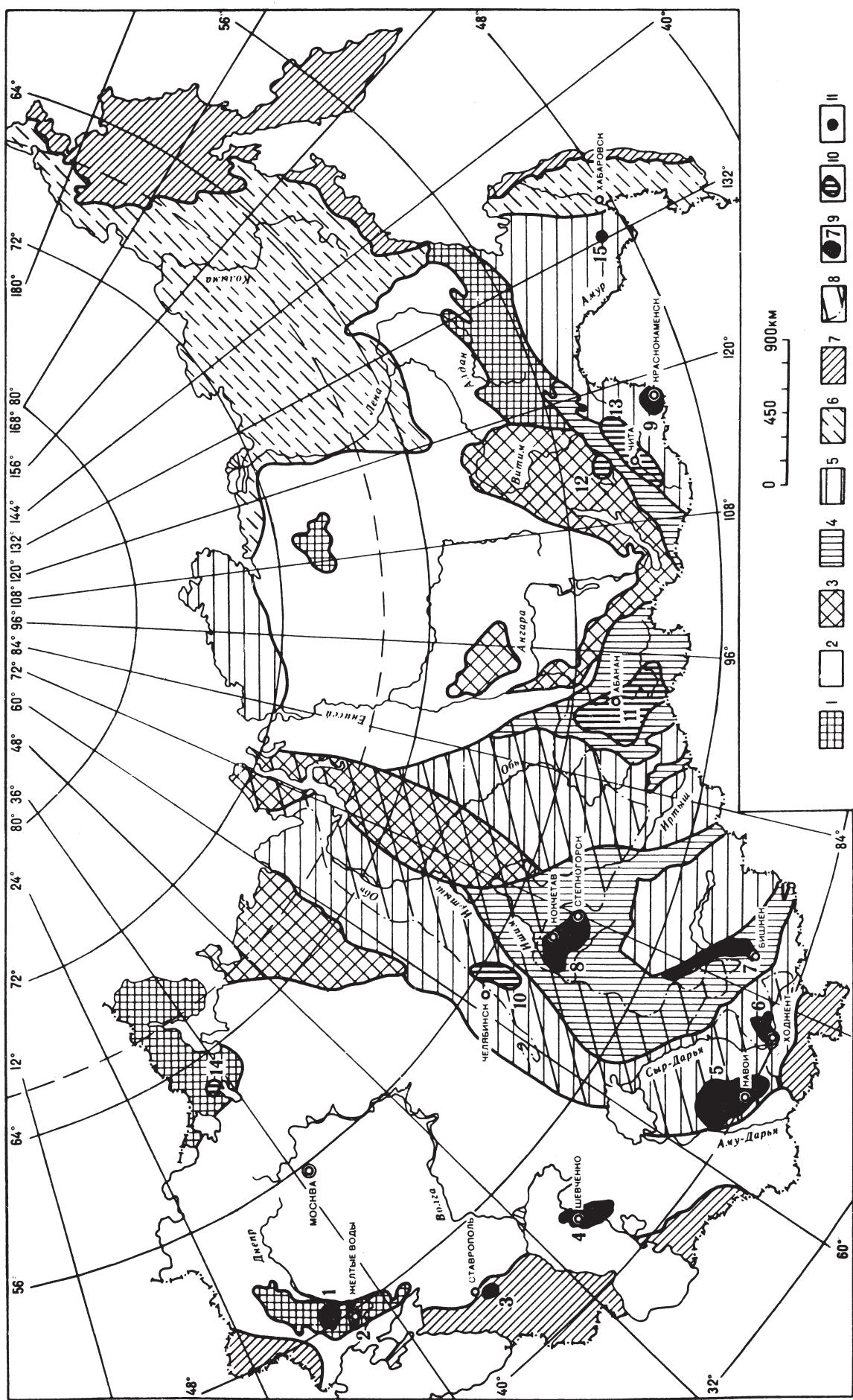


Рис. 1. Карта размещения урановорудных и ураноносных районов СССР [Паверов и др., 1992].
 1–8 – элементы геологического строения: 1 – комплексы основания древних платформ, 2 – комплексы чехла древних платформ, 3–7 – геосинклинально-складчатые комплексы различной стабилизации: 3 – байкальской, 4 – каледонской, 5 – мезозойской, 6 – герцинской, 7 – кайнонозойской, 8 – комплексы чехла молодых платформ на домезозойском складчатом основании; 9 – урановорудные районы: 1 – Кировоградский, 2 – Криворожский, 3 – Ставропольский, 4 – Каспийский, 5 – Кызылумский, 6 – Чаткало-Кураминский, 7 – Прибалхашский, 8 – Кокчетавский, 9 – Стрельцовский; 10 – ураноносные районы: 10 – Зауральский, 11 – Енисейский, 12 – Витимский, 13 – Центрально-Забайкальский, 14 – Онежский; 11 – одиночные месторождения (15 – Ласточка)

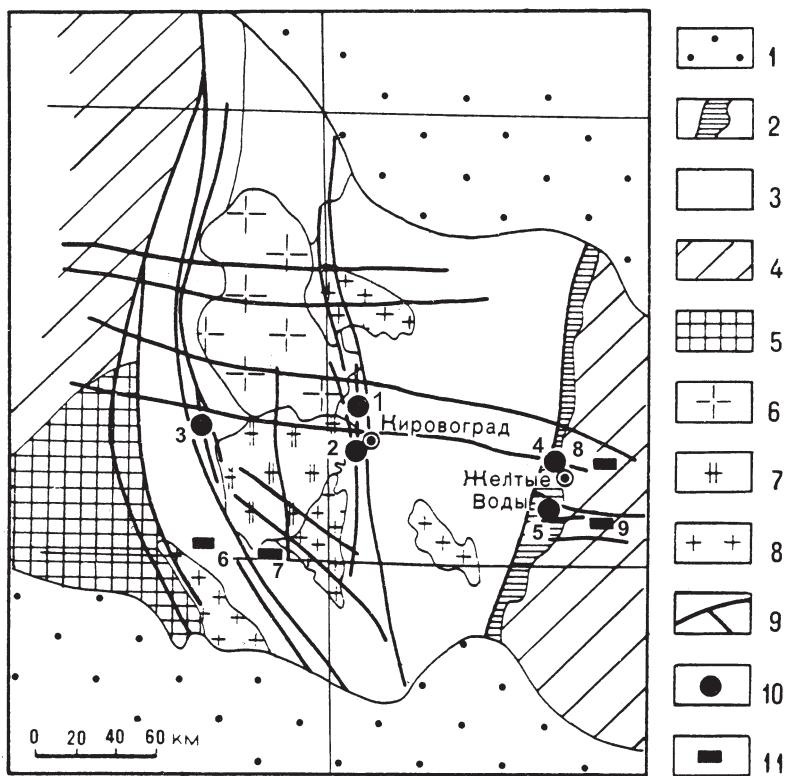


Рис. 2. Геологическая карта Криворожского и Кировоградского урановорудных районов [Крупные..., 2006].

1 – платформенный чехол (К-Р); 2–5 – метаморфические комплексы (А-Рт): 2 – протогеосинклинальный (Рт), 3 – гранито-гнейсовый раннеархейской стабилизации, 4 – гнейсовый позднеархейской стабилизации, 5 – гранулитовый (А); 6–8 – гранитоидыprotoоrogenные (Рт): 6 – граниты рапакиви, 7 – граниты, 8 – субщелочные граниты; 9 – разломы; 10–11 – урановые месторождения: 10 – эндогенной серии: в натровых метасоматитах-альбититах (1 – Северинское, 2 – Мичуринское, 3 – Ватутинское, 4 – Желтоводское, 5 – Первомайское), 11 – экзогенной серии: в платформенном чехле (6 – Садовое, 7 – Братское, 8 – Новогуриевское, 9 – Девладово)

Азии и Казахстана, подвергшихся альпийской тектонической активизации (рис. 1).

В то же время необходимо отметить, что северные, северо-восточные и восточные районы бывшего СССР остаются слабо изученными на уран.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Эндогенная серия

Месторождения прожилково-вкрапленных руд, связанные со щелочными метасоматитами, формировались на этапе среднепротерозойской тектономагматическойprotoактивизации, в заключительные стадии эпохи складчатости в среднем и позднем палеозое, а также в ходе тектономагматической активизации в среднем мезозое.

Среднепротерозойские месторождения сосредоточены в двух смежных районах Украинского кри-

сталлического щита: Криворожском (месторождения Желтоводское и Первомайское) и Кировоградском (Мичуринское, Центральное, Северинское, Новоконстантиновское, Ватутинское и др.). Первый из этих районов расположен в Криворожской шовной зоне, разделяющей блоки раннеархейской и позднеархейской консолидации. Второй – приурочен к гранито-гнейсовому куполу, сформированному в ходе раннепротерозойской гранитизации раннеархейских пород (рис. 2).

Месторождения обоих районов одновозрастны. Они возникли на поздней стадии раннепротерозойскойprotoактивизации, которая проявилась вслед за упомянутой выше гранитизацией (2,0 млрд лет) и протекала 1,8 млрд лет назад синхронно со становлением в соседних блоках массивов гранитов-рапакиви.

Урановому рудообразованию предшествовал и непосредственно сопровождал его интенсивный процесс щелочного метасоматоза гранито-метаморфического субстрата, приведший к образованию крупных тел альбититов. Их положение контролировали меридионально ориентированные зоны «долгоживущих» разломов, которые были заложены на стадии пластических деформаций протерозойских пород (blasto-

милонитовые швы) и затем «омоложены» близкими по времени к альбитизации и рудообразованию разрывами, возникшими в ходе более поздних крупных деформаций. Вдоль этих разломов, в участках их пересечений и сочленений, формировались зоны объемного катаклаза пород, также вмещающие тела ураноносных альбититов.

Альбититы формировались в различных породах: гранитах, гнейсах, мигматитах, железистых кварцитах. Однако в пределах конкретных месторождений нередко наблюдается преимущественное развитие альбитизации в породах какого-либо одного типа.

Урановые минералы (уранинит, браннерит) наложены на катаклизированные альбититы в виде микропрожилков и тонкой вкрапленности, в парагенезисе с альбитом, эгирином, рибекитом, родуситом и хлоритом.

Рудные залежи тяготеют к ядрам альбититовых тел и представляют собой линзы или штоки, ветвящиеся по восстанию. Их мощность колеблется от 3–5 до десятков метров, протяженность по горизонтали – от десятков до первых сотен метров, по вертикали – до 1 км и более.

Первыми среди месторождений рассматриваемого типа в 50-е годы были открыты месторождения Криворожского района, рудные тела которых частично локализовались в железистых кварцитах. Они были описаны в литературе как месторождения «железо-урановой формации» [Петров и др., 1969]. Дальнейшие исследования показали, что ураноносные альбититы развивались не только в железистых кварцитах, но и в других породах. Месторождения данного типа рассматривались также как проявления «ураннатровой» формации, или «ураноносных альбититов» [Белевцев и др., 1980; Величкин, 1983; Гидротермальные..., 1978; Крупенников и др., 1986; Рудные..., 1974; Справочник..., 1989; Шувалов и др., 1984].

Прямые аналоги уранового оруденения рассматриваемого типа известны за пределами бывшего СССР: в Канаде (Биверлодж и др. в провинции Саскачеван), на Бразильском щите (Итатая, Лаго-Реал и др.), а также в Швеции (район Арьеплуг и Арвидсявур).

Урановые месторождения в щелочных метасоматитах среднепалеозойского возраста выявлены в Кокчетавском рудном районе, находящемся на территории Северного Казахстана (рис. 1). Кокчетавский урановорудный район совпадает с одноименным микроконтинентом, который является элементом Центрально-Азиатского палеозойского складчатого пояса (рис. 3).

Кокчетавский микроконтинент представляет собой один из обломков древней суперплатформы Гондвана, распавшейся 600 млн лет назад. Его кристаллическое основание сложено докембрийскими гнейсами, гнейсосланцами, гранитогнейсами, кварцитами, прорванными большими массами среднепалеозойских гранитов. Микроконтинент обрамляют складчатые пояса, которые возникли в условиях регионального сжатия слабометаморфизованных вулкано-терригенных отложений кембрия – ордовика. Позже, в эпоху рифтогенеза, в краевых зонах

микроконтинента, на складчатом основании, сформировалась серия отдельных наложенных впадин, выполненных вулканогенно-осадочными породами девонского возраста.

Территория Кокчетавского микроконтинента рассечена и ограничена длительно развивавшимися глубинными, в том числе трансконтинентальными, разломами северо-западного и северо-восточного простирания. В узлах их пересечения располагаются основные уран-альбититовые месторождения, большинство которых находится в северной половине рассматриваемого региона (рис. 3). Их отличает от среднепротерозойских альбититов постоянное присутствие в составе метасоматитов карбонатной компоненты.

Уран-карбонатно-альбититовые месторождения (Косачинское, Грачевское, Чаглинское, Заозерное, Шатское, Маныбайское и др.) сформировались в силуре – девоне (370–380 млн лет назад), в условиях воздымания территории Кокчетавского микроконтинента. Рассматриваемые месторождения не обнаруживают видимых пространственных связей с проявлениями среднепалеозойского магматизма и локализуются в различных по составу интенсивно дислоцированных породах вендского и кембрий-ордовикского возраста. Рудные тела – уплощенные линейные, линзовидные или трубообразные штокверки – контролируются складчатыми и разрывными дислокациями. Руды располагаются в основном в зонах тектонического дробления и сопровождаются альбитизацией и карбонатизацией вмещающих пород.

По минеральному составу выделяются собственно урановые (коффинит, браннерит, редко настурит, аршиновит), уран-фосфорные (те же минералы и фторапатит) и уран-молибденовые (настурит, браннерит, молибденит, аршиновит) руды, которые характеризуются относительно невысокими (0,1–0,2 %) содержаниями урана. Минеральные ассоциации двух первых парагенезисов возникли синхронно с альбит-карбонатными метасоматитами. Молибден-урановое оруденение сформировалось позже альбит-карбонат-апатитовых метасоматитов.

В опубликованных работах урановые месторождения Кокчетавского района отнесены к «фосфорно-урановой» и «уран-молибденовой» формациям [Величкин, 1983; Геология..., 1966; Гидротермальные..., 1978; Королев и др., 1983; Крупенников и др., 1986; Справочник..., 1989; Шувалов и др., 1984].

Месторождения прожилково-вкрапленных руд, связанные с континентальными вулканическими комплексами, проявлены на территории бывшего СССР очень широко. Этот тип, представленный молибден-урановыми и урановыми месторождениями, впервые выделен, обоснован и детально исследован Н.П. Лаверовым [Лаверов, 1972], установившим устойчивую причинно-следственную связь молибден-урановых руд с континентальными вулкано-плутоническими формациями. Рассматриваемые месторождения формировались в среднем и позднем

палеозое, в краевых вулкано-плутонических поясах, в ходе аккреционно-коллизионных процессов андийского типа, а также в условиях проявления мезозойского внутриплитного магматизма.

В вулкано-плутоническом поясе силур-девонского возраста возникли урановые и молибден-урановые месторождения Южно-Кокчетавского (Восток, Ишимское, Балкашинское и др.) и Прибалхашского (Курдай, Бота-Бурум, Кызылсай, Джидели) районов (рис. 3, 4). В пермском вулканическом поясе аналогичные месторождения формировались в Чаткало-Кураминском (Каттасай, Алатаньга, Майликатан, Чаяли и др.) районе (рис. 5). Все эти месторождения по масштабам уранового оруденения относятся к мелким и средним.

В эпоху мезозойского внутриплитного магматизма, проявившегося на территориях Алданского щита и Монголо-Охотского складчатого пояса, на границе триаса и мела сформировалось уникальное по суммарным запасам урана Стрельцовское рудное поле, объединившее 19 крупных, средних и мелких молибден-урановых месторождений.

Петрохимический состав вулканитов, ассоциирующих с урановыми рудами, варьирует от андезитов (базальтов) до трахитов и риолитов. Породы этого ряда обладают повышенной щелочностью и содержат уран в количествах, заметно превышавших кларковые концентрации, в том числе, и в разностях основного и средне-основного состава.

Геолого-структурные условия локализации Mo-U рудных полей, месторождений и рудных тел рассматриваемого типа чрезвычайно разнообразны в деталях, но, в целом, определяются структурными факторами. Выделяются пять групп месторождений, структуры которых в главных чертах определяются приуроченностью: к эндоконтактам многофазных субвулканических интрузивов (Каттасай, Алатаньга, Майликатан); экструзивным куполам и неккам пород кислого состава (Бота-Бурум, Кызылсай, Балкашинское и др.); слоистым толщам вулканитов в кальдерах проседания (Стрельцовское рудное поле, Чаяли); зонам разломов в породах фундамента вулканогенных пород (Антей, Курдай, Восток, Звездное); красноцветным молассоидам рифтогенных впадин (Викторовское, Шокпак, Камышовое).

Физико-механические, прочностные свойства и эффективная пористость пород оказывали существенное влияние на локализацию руд, что непосредственно отразилось на их текстурных особенностях. Важную роль играла также прототектоническая трещиноватость в малых субвулканических телах, проницаемость отдельных разновидностей туфо-лавовых и лавовых горизонтов и т. п.

Стадийность гидротермального процесса практически выдерживается на всех месторождениях, хотя интенсивность проявления отдельных стадий и соотношения минеральных парагенезисов зачастую обнаруживает значительные вариации. Дорудные стадии представлены березитизацией и сульфидизацией рудовмещающих пород. В урановорудных

стадиях главными являются парагенные ассоциации настурана с браннеритом и альбитом, молибденитом, галенитом, кварцем, карбонатами и серицитом (гидрослюдой). Постурановорудная минерализация представлена карбонатными и барит-карбонатными жилами и прожилками.

Во многих случаях отмечаются процессы регенерации, переотложение настурана с участием коффинита или U-Si метагеля, что указывает на сложность процесса рудоотложения, и, судя по геологическим и изотопным данным, на преобразования руд, периодически проявлявшиеся в течение длительного периода времени.

Наиболее крупными масштабами оруденения с суммарными запасами урана более 250 тыс. т отличается Стрельцовское урановорудное поле, расположенное в Юго-Восточном Забайкалье. Оно является уникальным по уровню концентрации уранового оруденения на весьма ограниченной площади. Геологическое положение рудного поля определяется его нахождением в Аргунском микроконтиненте, подвергшемся в среднем мезозое тектоно-магматической активизации (рис. 6).

Главной рудовмещающей структурой Стрельцовского рудного поля является Тулукавская позднеюрская вулкано-тектоническая впадина кальдерного типа. Она имеет небольшие размеры (около 20 км в поперечнике) и контролируется сложным узлом пересечения трансконтинентальных разломных зон субмеридионального и северо-восточного направлений. В указанном тектоническом узле, под Тулукавской кальдерой, согласно последним геофизическим данным, выявлена вертикальная колонна интенсивно разуплотненных пород, пересекающая земную кору и распространяющаяся в мантию.

Вулканогенно-осадочные породы кальдеры включают базальты, андезиты, дациты, липариты, частые прослои осадочных и туфогенно-осадочных пород. Гетерогенность перечисленных пород в сочетании с многочисленными крутопадающими и субпослойными тектоническими разрывами определила возникновение внутри кальдеры систем сближенных субвертикальных и субгоризонтальных проницаемых каналов, а также сочетающихся с ними пологозалегающих субпослойных экранов.

Другой особенностью рассматриваемой урановорудной структуры является наличие повышенных концентраций рассеянного урана в разновозрастных магматических породах кальдеры и ее фундамента.

Молибден-урановые месторождения, расположенные внутри кальдеры, контролируются системами разломов субмеридионального северо-западного и северо-восточного простираций, прослеживающими за пределы кальдеры. Руды локализуются на различных стратиграфических уровнях вулканогенно-осадочного комплекса и в подстилающих гранитах. Рудные тела представлены пучками сближенных крутых и пологопадающих жил, сложными линейными и изометрическими штокверками, а также пласто-

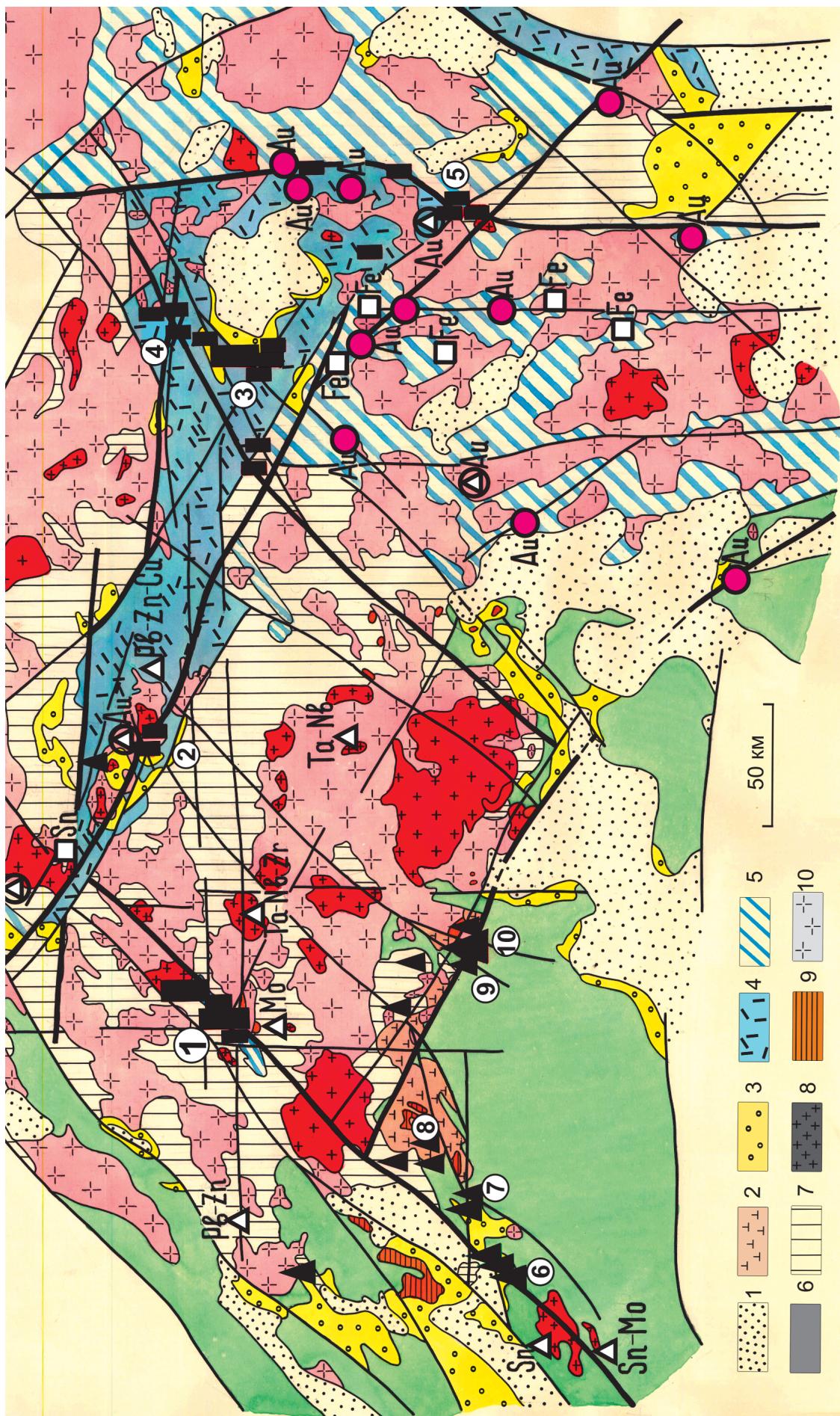


Рис. 3. Схематическая геологическая карта Кокчетавского урановорудного района.

1 - платформенный чехол (MZ-KZ); 2 - вулканиты кислого состава (D); 3 - терригенные молассы (D); 4 - терригенно-вулканогенные отложения ордовика в складчатом обрамлении Кокчетавского массива; 5 - флишоидные отложения на кристаллическом основании; 6 - кристаллические интрузивы кислого состава (PR); 7 - кристаллическое основание (PR); 8 - лейкограниты (D1-3); 9 - субвулканические интрузивы цветных и редких металлов; 10 - граниты, гранодиориты, плагиограниты (S-D1); 11 - тектонические нарушения; 12 - месторождения цветных и редких металлов: жильно-штокверковые (a), метасоматические (b), жильные (b), скарновые (r); 13 - урановые месторождения: а) уран-альббитовые (1 - Грачевское, 8 - Викторовское, 2 - Чаглинское, 3 - Заозерное, 4 - Шатское, 5 - Маныбайское); б) урановые и молибден-уранные (6 - Ишимское, 7 - Шокпакское, 8 - Викторовское, 9 - Балкашинское, 10 - Восток)

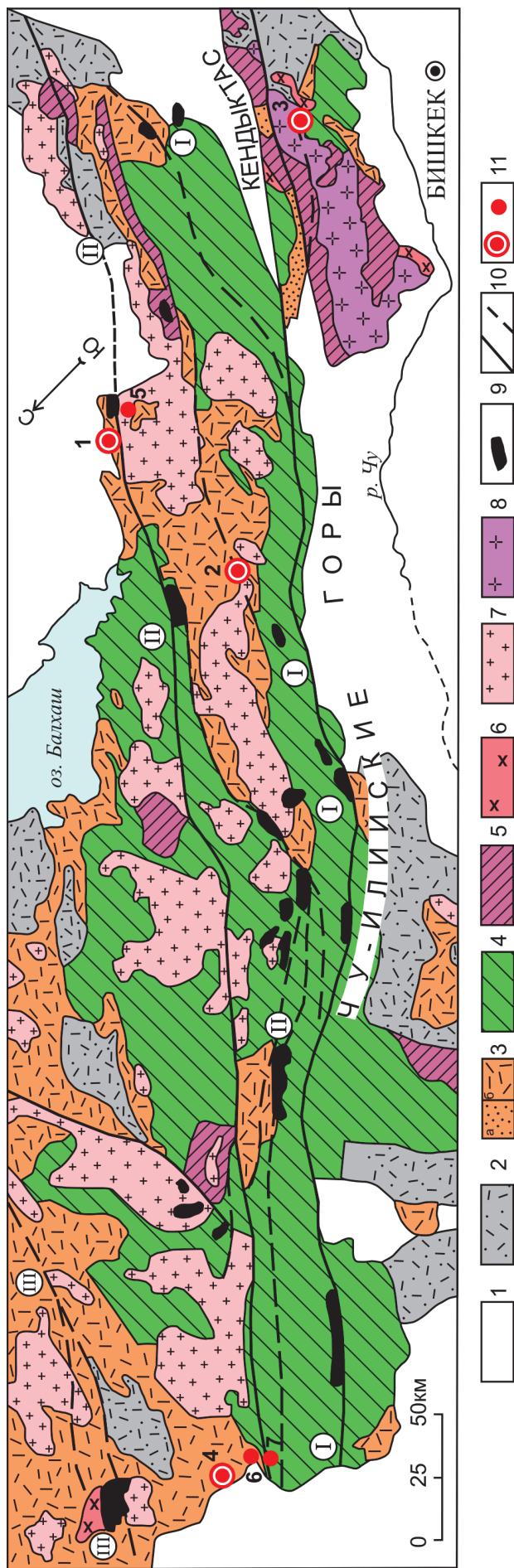


Рис. 4. Схема геологического строения района Чу-Илийских и Кендыктасских гор.

1 – платформенный чехол; 2 – осадочные и вулканогенно-осадочные полуплатформенные отложения (C); 3 – вулканогенно-осадочные породы Девонского вулканического пояса позднеорогенный (позднеколлизионный) комплекс (S_2 -D); 4 – сланцевые толщи вулканогенно-осадочного и осадочного коллизионного комплекса ($E-S$); 5 – метаморфический комплекс пород докембрия; 6 – герцинские граносиениты и гранодиориты; 7 – позднеорогенные (позднеколлизионные) многофазные граниты в составе девонского вулканического пояса (D_3-C_1); 8 – батолитоподобные plutоны коллизионных гранитов и гранодиоритов; 9 – породы оphiолитового комплекса; 10 – глубинные тектонические зоны: I – Жапалыр-Найманская, II – Сарытумская, III – Шалтия-Караобинская; 11 – месторождения молибден-урановой формации: 1 – Ботабурум, 2 – Кызыл-Сай, 3 – Курдай, 4 – Джидели и ураноносных альбититов: 5 – Джусандалинское, 6 – Шарлы, 7 – Костобе

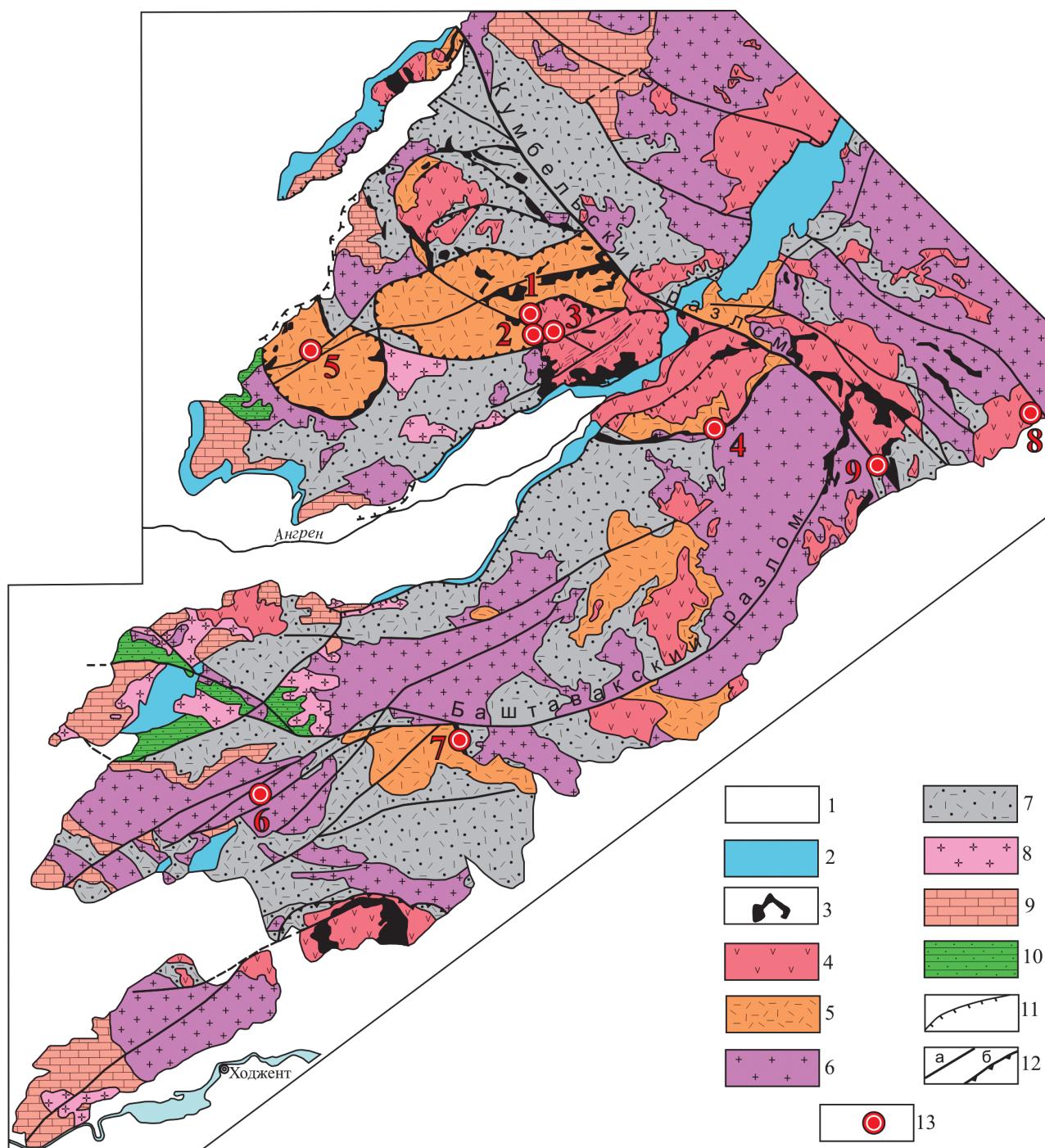


Рис. 5. Геологическая схема Чаткало-Кураминского урановорудного района [Лаверов, 1972, с обобщениями и упрощениями].

1 – континентальные отложения, межгорные и предгорные молассы, лессовидные суглинки (Pg_3-Q); 2 – морские и прибрежно-морские платформенные терригенные, хемогенные и органогенные отложения (J_2-Pg_3); 3–6 – породы позднепалеозойского вулкано-интрузивного комплекса: 3 – многофазные субвулканические интрузивы, вулкано-экструзивные купола, малые интрузивные тела гранит-порфиров, риолитовых и кварцевых порфиров, риолитов и их кластолав, граносиенит-порфиров и сиенито-диоритов (P_1); 4 – вулканиты кислого состава и красноцветные молассы (P_1); 5 – многофазные интрузивы гранодиоритов, гранодиорит- и сиенитодиорит-порфиров (C_2-C_3 и C_3-P_1); 6 – вулканиты андезит-дицитового состава ($C_{1-2}-P_1$); 7–9 – породы основания позднепалеозойского вулкано-интрузивного комплекса: 7 – каледонские гранитоиды (S_2-D_1); 8 – терригенные и хемогенные отложения, вулканиты андезитового и риолитового состава (S_2-D_2 и D_3-C_1); 9 – метаморфические сланцы, доломиты и известняки и вулканиты андезит-дацитового состава ($O-S$); 10 – альпийские надвиги; 11 – региональные линейные долгоживущие и кольцевые разломы вулканических депрессий; 12 – урановые месторождения: 1 – Алатаныгъа, 2 – Каттасай, 3 – Джекиндек, 4 – Майликатан, 5 – Чаули, 6 – Табошар, 7 – Адрасман, 8 – Чаркасар, 9 – Ризак

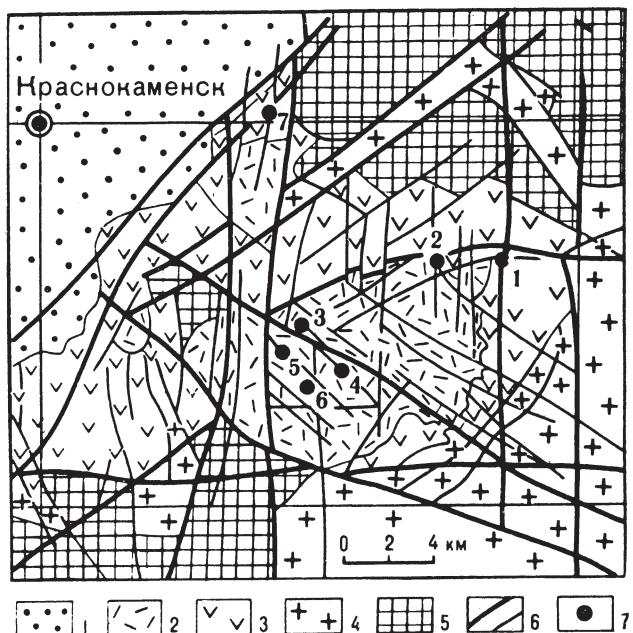


Рис. 6. Геологическая карта Стрельцовского урановорудного района [Лаверов и др., 1992].

1 – платформенный комплекс (K_1); 2–3 – орогенный комплекс (J_3); 2 – верхний подкомплекс (липариты, игнимбриты, туфы, песчаники), 3 – нижний подкомплекс (песчаники, дациты, туфы, андезиты, базальты, конгломераты); 4–5 – доорогенные комплексы: 4 – граниты (Pz), 5 – метаморфиты (Pt); 6 – разломы; 7 – урановые месторождения: 1 – Широндукевское, 2 – Стрельцовское, 3 – Тулукуевское, 4 – Юбилейное, 5 – Весеннее, 6 – Новогоднее, 7 – Дальнее

образными залежами, приуроченными к горизонтам пористых песчаников и туфов.

Выделяются собственно урановые и ураномolibденовые руды. В обоих типах руд уран находится в кристаллической (настуран) и аморфной (урановый метагель) фазах. Содержания урана в рядовых рудах в основном составляют около 0,15–0,2 %, в отдельных крупных штокверках – до 0,6 %, а в единичных жилах достигают первых процентов. Характерна устойчивая связь урановых минералов с флюоритом.

Урановое оруденение месторождений Стрельцовской кальдеры сформировалось 135 млн лет тому назад.

Месторождения рассмотренного типа описаны во многих опубликованных отечественных работах как рудные объекты «уран-молибденовой» или «уран-флюоритовой» формаций, а также как месторождения в «вулканических депрессиях и куполах» [Величкин, 1983; Вольфсон и др., 1967; Геология..., 1966, 1968; Гидротермальные..., 1978; Еремеев и др., 1977; Казанский и др., 1978; Лаверов и др., 1965; Месторождения..., 1973, 1976; Рудные..., 1976; Условия..., 1972; Шувалов и др., 1984].

Урановое оруденение, связанное с континентальными вулканическими комплексами, мало известно

в других странах мира. В качестве возможных аналогов могут рассматриваться месторождение Мерисвейл в США и мелкие урановорудные скопления в Андийской горной системе Южной Америки (район Лос-Фрайлес и др.).

Экзогенная серия

Определяющими среди урановорудных объектов экзогенной серии являются стратиформные инфильтрационные месторождения в песчаниках. В их составе выделяются: кайнозойские месторождения в проницаемых породах слоистых платформенных комплексов, связанные с фронтами регионального пластового окисления в обширных артезианских бассейнах; более древние (палеозойские) месторождения, аналогичные по условиям залегания и формирования, но возникшие в более локальных наложенных впадинах, а также рудные объекты в отложениях мезозойско-кайнозойских палеодолин пленепленизованных поверхностей гранитно-метаморфического и менее метаморфизованного складчатого основания.

Второстепенное значение в экзогенной серии имеют стратиформные месторождения ураноносного фосфатизированного костного детрита ископаемых рыб в морских пиритсодержащих глинах платформенных комплексов, которые известны лишь в СССР.

Кайнозойские инфильтрационные месторождения в артезианских бассейнах сосредоточены в Кызылкумском, Сырдарыинском и Чу-Сарысуйском районах Узбекистана и Южного Казахстана (рис. 7). Эти районы находятся на территории молодой эпигерцинской платформы, которая в ходе альпийского тектоногенеза была расчленена многочисленными разломами на поднятые и опущенные блоки. В ядрах поднятий обнажены породы складчатого домезозойского фундамента. В опущенных блоках они перекрыты субгоризонтально залегающими толщами мела – палеогена – неогена, в разрезе которых многократно чередуются проницаемые гравийно-песчаные и непроницаемые алеврит-глинистые слои. Эти блоки представляют собой обширные артезианские бассейны, в пределах которых из блоков-поднятий поступают кислородсодержащие воды с повышенными содержаниями урана. Эти воды инфильтрируют в пласты песчаников, вызывая окисление. На фронтах зон окисления возникают восстановительные барьеры, фиксирующие урановое оруденение.

Фронты пластового окисления и связанные с ними крупные урановые месторождения известны в нескольких проницаемых сероцветных горизонтах мезозойско-кайнозойского чехла. Эти горизонты прослеживаются на сотни километров, огибая выступы палеозойского основания. В туронских горизонтах локализуется месторождение Учкудук, в коньяк-сантонских – Букинай, в кампан-маастрихтских – Сургали, в палеогеновых – Бешкак-Лявлекан. На не-

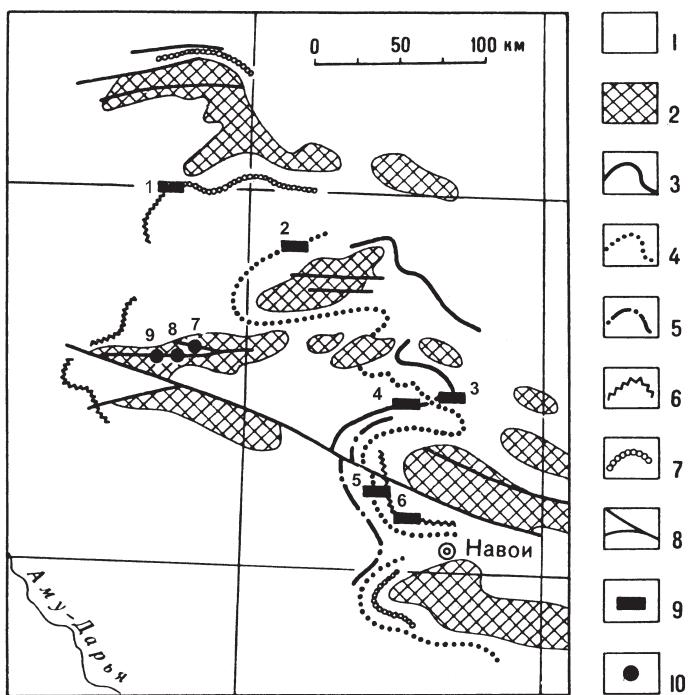


Рис. 7. Геологическая карта Кызылкумского урановорудного района [Лаверов и др., 1992].

1 – платформенный комплекс (K-Q); 2 – складчатый комплекс (Pz); 3–7 – фронты пластового окисления в различных горизонтах платформенного комплекса: 3 – в палеогене, 4 – в коньяке–сантоне, 5 – в кампане–маастрихте, 6 – в верхнем туроне, 7 – в нижнем туроне; 8 – разломы; 9–10 – урановые месторождения: 1 – Учкудук, 2 – Сургали, 3 – Лявлякан, 4 – Бешкак, 5 – Букинай, 6 – Канимех, 10 – полигенной серии: 7 – Рудное, 8 – Косчека, 9 – Джантуар

которых месторождениях оруденелыми оказались сближенные в плане фронты пластового окисления нескольких горизонтов. Так, на месторождении Канимех оруденение развито в песках кампанского, нижнего, среднего и верхнего сантонского и коньякского горизонтов.

Рудные залежи в разрезе имеют форму простых или усложненных роллов, а в плане – протяженных, сильно изогнутых лент, ширина которых может достигать сотен метров, а длина – десятков километров.

Руды большинства месторождений – урановые, но на некоторых рудных объектах отмечаются повышенные содержания селена, рения, ванадия и других металлов.

Известны месторождения с относительно богатыми рудами (Уч-Кудук, Сургали), в которых содержание урана достигает десятых долей процента, и месторождения с бедными рудами (Букинай, Лявлякан, Бешкак и др.). Отработка первых частично осуществляется горным способом, а вторых – исключительно подземным выщелачиванием.

На ряде месторождений устанавливается увеличение содержаний урана по мере возрастания глубин залегания рудных залежей.

Рассматриваемые месторождения – самые распространенные в мире. Они детально изучены и описаны в отечественной литературе как «гидрогенные», сформированные пластовыми водами, «эпигенетические гидрогенные» и т.д. [Антропов, 1969; Белевцев и др., 1980; Гидрогенные..., 1980; Данчев, Стрелянов, 1979; Еремеев и др., 1977; Рудные..., 1974; Справочник..., 1989]. В мировой практике они обычно именуются «месторождениями в песчаниках вайомингского типа» [Лаверов и др., 1983; Образование..., 1976].

Позднепалеозойские инфильтрационные месторождения в песчаниках (Приморское и Усть-Уюкское) выявлены в Енисейском районе, представляющем собой каледонскую орогенную область. На складчатом раннепалеозойском и докембрийском основании этой области сохранились депрессионные структуры, заполненные преимущественно красноцветными песчано-алевритовыми осадками верхнего девона – карбона, частично – юрскими угленосными платформенными отложениями. В обрамлении депрессий широко развиты девонские континентальные вулканиты кислого и основного состава.

Тонкодисперсные собственно урановые, иногда с молибденом и селеном, урановые руды Приморского и Усть-Уюкского месторождений сформировались в позднем девоне. Они тяготеют к горизонтам сероцветных песчаников, залегают в виде линз среди девонских красноцветных песчаников, слагающих наложенные впадины. Рудные тела Приморского месторождения имеют линзовидно-пластовую форму и целиком локализуются в сероцветах. Их отличают малые мощности (0,3–0,5 м), но относительно высокие содержания урана (0,2–0,3 %). На месторождении Усть-Уюкское установлены элементы роллообразной в разрезе формы рудных залежей и признаки их образования на границе красноцветных и сероцветных пород.

Генезис рассмотренных месторождений не получил однозначного толкования. В геологической литературе урановое оруденение этого типа охарактеризовано крайне скрупульно [Месторождения..., 1976; Справочник..., 1989].

В качестве наиболее вероятных зарубежных аналогов рассмотренных месторождений можно считать скопления экзогенных урановых руд Нигера [Лаверов и др., 1983].

Инфильтрационные урановые месторождения палеодолин достаточно широко распространены. Они известны в Кировоградско-Криворожском, Зауральском, Кокчетавском и Витимском районах. Месторождения рассматриваемого типа располагаются в осадках палеодолин, перекрытых более молодыми отложениями: верхнеюрскими (Зауральский и Кокчетавский районы), олигоцен-миоценовыми (Витимский район) и антропогенными (Кировоградско-Криворожский район). Урановые руды (в основном сажистый настуран и нингиоит) приурочены к отложениям палеодолин и слагают лентообразные залежи протяженностью в первые километры, шириной

в 50–300 м и мощностью до 10 м. Их конфигурация в плане повторяет очертания рудовмещающих палеодолин.

Формирование таких месторождений происходило в два этапа. На первом этапе в долинных врезах в поверхности пенепленов, в условиях гумидного климата накапливались осадки, обогащенные органическим материалом. Затем, при смене климата на субаридный – семигумидный, в отложения долин с бортов, сложенных породами с повышенными содержаниями урана, поступали урансодержащие кислородные воды, которые сбрасывали уран на контрастных барьерах, обусловленных наличием в долинных осадках горизонтов, содержащих углеродистое вещество.

Месторождения Зауральского района (Долматовское, Хохловское, Добровольское и др.) локализуются в отложениях развитой системы погребенных палеодолин, имевших общий уклон в направлении к центру Западно-Сибирской плиты. Перспективы этого обширного района ограничены из-за резкого погружения верхнеюрского пенеплена под покровы перекрывающих их более молодых осадков. В приподнятом фрагменте этого же пенеплена, на северном склоне Кокчетавского массива, возникло месторождение Семизбай.

Наиболее крупными ресурсами урана обладает Витимский район. Под четвертичными базальтами на этой территории захоронен значительный участок водораздела, в котором сохранились продуктивные отложения, находящиеся в верховьях обширной речной палеосистемы кайнозойского возраста. Урановые месторождения (Родионовское, Хиагдинское, Тетрахское, Дыбрынское и др.) приурочены к русловым угленосным осадкам палеодолин. Рудные тела в основном залегают ниже зоны многолетнего промерзания пород, что позволяет использовать при эксплуатации этих месторождений методы подземного выщелачивания урана.

В отечественной литературе этот тип инфильтрационных месторождений освещен слабо [Данчев, Стрелянов, 1979; Справочник..., 1989].

Скопления урановых руд, подобные рассмотренным месторождениям, широко известны в зарубежных странах [Лаверов и др., 1983; Образование..., 1976]. Кроме инфильтрационных урановорудных объектов, связанных с речными осадками, обогащенными органикой, в регионах с тропическим аридным климатом известны урансодержащие образования современных долин типа ураноносных калькредитов (Йиллири в Австралии и др.).

Седиментационно-диагенетические месторождения ураноносного фосфатизированного костного детрита ископаемых рыб не имеют аналогов и известны лишь в Каспийском районе, на п-ве Мангышлак (Западный Казахстан). Район охватывает часть молодой платформы, фундамент которой сложен осадочными комплексами пермотриаса и юры, а чехол – мел-палеоген-неогеновыми осадками (рис. 8).

Урановые месторождения (Меловое, Томакское, Тайбагарское, Тасмурунское) локализуются в морских

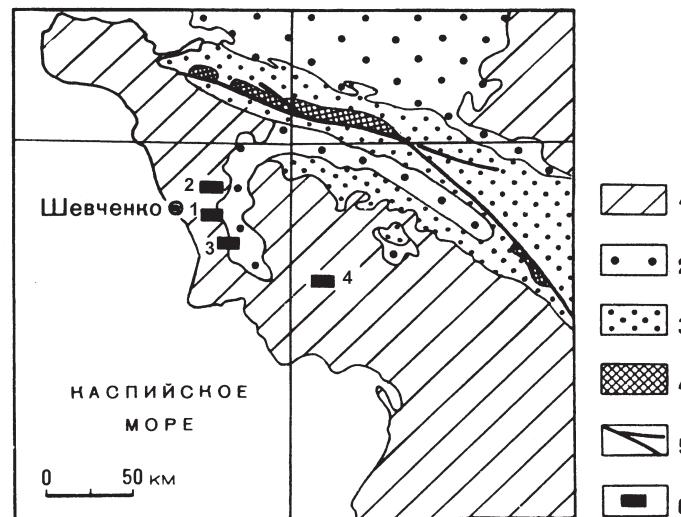


Рис. 8. Геологическая карта Каспийского урановорудного района [Лаверов и др., 1992].

1–3 – платформенный комплекс (K–Q): 1 – неоген-четвертичные отложения, 2 – палеогеновые отложения; 3 – меловые отложения; 4 – складчатый комплекс (T–J); 5 – разломы; 6 – урановые месторождения экзогенной серии: 1 – Меловое, 2 – Томакское, 3 – Тасмурун, 4 – Тайбагар

отложениях чехла и представлены пластообразными скоплениями ураноносного фосфатизированного костного детрита ископаемых рыб в пиритоносных глинах палеогена, перекрытых алевритистыми и подстилаемыми карбонатными глинами.

Скопления ураноносного костного детрита, сформированные подводными течениями, сконцентрированы во впадинах, развившихся на поверхности подстилающей толщи. Обогащенные детритом слои глин имеют мощность от нескольких сантиметров до 1–2 м. В направлении склонения впадин, а также в их бортах, детритоносные слои расщепляются.

Рудные залежи имеют в плане форму языков, выклинивающихся по мере удаления от береговой линии палеобассейна. Костный детрит – в основном мелкий (1–3 мм), передробленный, со следами окатанности. Количество костного материала составляет от 10–20 до 70 %. Кости полностью замещены карбонат-фторапатитом, содержащим уран.

Генезис этих месторождений остается не вполне ясным. Вероятно, накопление урана в костях происходило до их захоронения. Формирование скоплений костных остатков было связано с деятельностью подводных течений. Не исключена возможность частичного прижизненного накопления урана в костях рыб, что, вероятно, явилось одной из причин их массовой гибели.

Месторождения этого типа описаны во многих отечественных публикациях [Белевцев и др., 1980; Данчев, Стрелянов, 1979; Еремеев и др., 1977; Месторождения..., 1973; Справочник..., 1989]. Их аналоги за рубежом неизвестны.

Полигенная серия

К этой серии относятся разновозрастные **месторождения в углеродистых сланцах**, генезис которых расшифрован не полностью, однако полихронность рудообразования очевидна.

Месторождения подобного типа (Рудное, Косчека, Джантуар) известны в Кызылкумском районе. Они локализованы в приподнятых блоках палеозойского фундамента, находящихся в горном массиве Ауминзатау. В нижнепалеозойском комплексе фундамента выделяются толщи углеродсодержащих, филлитовидных и кремнистых сланцев, которые смяты в складки и прорваны позднепалеозойскими гранитами. Углеродсодержащие сланцы, вмещающие оруденение, отличаются повышенной концентрацией урана, ванадия, молибдена, цинка и других элементов.

Месторождения располагаются в экзоконтактовой зоне позднепалеозойского массива гранитов и контролируются разломами, интенсивные движения по которым происходили неоднократно, вплоть до четвертичного времени.

Рудные залежи имеют вид сложных штокверков или стратiformных залежей. До глубины порядка 300 м они сложены исключительно фосфатами и ванадатами шестивалентного урана. Ниже по падению развиты настурлан-коффинитовые руды с сульфидами. Установлено, что ранние генерации настурана ассоциируют с кварц-хлорит-серицитовыми метасоматитами, поздние – с аргиллизацией пород. На месторождении Рудное в рудах в промышленном количестве содержится ванадий.

Предполагается, что формирование месторождений было обусловлено гидротермальной деятельностью варисийского и альпийского этапов и завершилось гипергенными процессами. При этом на каждом этапе имело место перераспределение ранних, в том числе первично сингенетических, урановых концентраций.

К типу **пластовых месторождений, приуроченных к структурно-стратиграфическим несогласиям**, относится мелкое урановое месторождение Карку, которое было открыто в конце 80-х годов прошлого столетия в Ладожском районе.

Месторождение тяготеет к поверхности несогласия между вулканогенно-осадочными породами, слагающими рифтогенную субплатформенную рифейскую впадину, и породами кристаллического фундамента – гнейсо-сланцами раннепротерозойского возраста, и прорывающими их позднепротерозойскими гранитами, содержащими рассеянный уран. Месторождение располагается в обширном узле пересечения региональных тектонических зон северо-западного, меридионального и северо-восточного направлений.

Три разобщенные и небольшие по площади пластообразные рудные залежи месторождения сложены рядовыми, в том числе богатыми (содержания урана от 0,3 до первых процентов), урановыми рудами. Они залегают в совмещенном метасоматическом ореоле

хлорит-карбонатного состава, возникшем в базаль-ных слоях рифейских песчаников. Предполагается, что урановые руды были сформированы кислород-содержащими ураноносными подземными водами атмосферного или диагенетического происхождения, выщелачивавшими уран из пород фундамента. Эти воды просачивались через рифейские терригенные осадки, достигали поверхности кристаллического фундамента и циркулировали вдоль нее. Над разрывами фундамента, омоложенными в позднерифейскую эпоху, кислородные воды с шестивалентным ураном смешивались с восходящими потоками нагретых вод, содержащими восстановители. В результате уран восстановлялся и формировал ураноксидные руды.

В качестве вероятных зарубежных аналогов месторождений в массиве Аминзатау могут быть названы месторождения в палеозойских углистых сланцах Тюрингии (Германия), описанные как стратiformные в черных сланцах [Рыболов, 1965].

Урановое месторождение Карку Ладожского района характеризуется существенным сходством в отношении геологического строения и условий формирования с уникальными урановыми месторождениями, так называемого, «типа несогласия», известными в Австралии и Канаде [Лаверов, Винокуров, 1988; Лаверов и др., 1983; Образование..., 1976], но отличается от них слабой проявленностью основных рудолокализующих факторов.

ЭПОХИ УРАНОВОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Анализ имеющихся материалов показывает, что все урановые месторождения, известные на территории СССР, располагаются в районах со зрелой континентальной земной корой и образовались на завершающих стадиях развития древних и молодых платформ.

Выделяются пять основных металлогенических эпох, в течение которых были сформированы урановые месторождения главных промышленно-генетических типов: 1) раннепротерозойская, 1800–1700 млн лет (месторождения Криворожского, Кировоградского и Ладожского районов); 2) раннепалеозойская, 420–410 и 370–360 млн лет (месторождения Кокчетавского, Прибалхашского и Енисейского районов); 3) позднепалеозойская, 280–270 млн лет (месторождения Чаткало-Кураминского района и других районов Тянь-Шаня); 4) мезозойская, 140–130 млн лет (месторождения Стрельцовского, Эльконского и Зауральского районов); 5) кайнозойская, 20,0 и 5,0 млн лет (месторождения Кызылкумского, Каспийского, Сырдарьинского, Чу-Сарысуйского, Витимского и других районов).

Раннепротерозойская эпоха соответствовала заключительному периодуprotoактивизации зрелой континентальной коры древних платформ. В ходе интенсивных тектонических деформаций этого периода

в архейском кристаллическом фундаменте возникли протяженные разломы глубинного заложения, в зонах которых, вне связи с предшествующим магматизмом, развился интенсивный высокотемпературный щелочной метасоматизм, сопровождавшийся урановым рудообразованием. В течение этой эпохи на территории бывшего СССР сформировались месторождения прожилково-вкрашенных руд в уран-альбититовых метасоматитах (Криворожский и Кировоградский районы).

В среднепалеозойскую эпоху, синхронную с завершающим периодом развития каледонских складчатых областей, образовались гидротермальные урановые месторождения прожилково-вкрашенных руд. Они возникли при участии глубинных эндогенных процессов, которые проявились либо в зонах активизированных древних разломов складчатого основания при отсутствии видимой связи с магматизмом (Северо-Кокчетавский район), либо ассоциировали со становлением континентальных вулкано-интрузивных комплексов пестрого (среднекислого) состава (Южно-Кокчетавский район). В каледонскую эпоху возникли также наиболее древние из известных в настоящее время экзогенно-эпигенетических урановых месторождений песчаникового типа (Енисейский район).

Позднепалеозойская эпоха совпадает с завершающим периодом развития герцинских складчатых систем. На территории СССР урановое рудообразование этой эпохи проявилось относительно слабо. Сформировался ряд мелких гидротермальных месторождений прожилково-вкрашенных руд в континентальных вулканических комплексах (Чаткало-Кураминский и другие районы Тянь-Шаня).

В позднемезозойскую эпоху в областях эпиплатформенной тектоно-магматической активизации макроконтинентов, входящих в молодую платформу, интенсивное развитие получили процессы гидротермального уранового рудообразования, характеризовавшиеся тесной пространственно-временной и геохимической связью оруденения с базальт-липаритовыми комплексами внутриконтинентальных вулканических поясов. В вулканических постройках, контролируемых зонами глубинных активизированных разломов, возникли молибден-урановые месторождения прожилково-вкрашенных руд, достигающие крупных и уникальных масштабов (Стрельцовский район).

В эту же эпоху, в активизированных глубинных разломах древнего Алданского щита образовались уникальные по запасам золото-урановые месторождения Эльконского района, руды которых тесно связаны с зонами щелочных (калиевых) метасоматитов.

В позднемезозойских палеодолинах, возникших в пределах пенепленизованных поверхностей палеозойских орогенов, в платформенных условиях формировались инфильтрационные урановые месторождения (Зауральский район).

Кайнозойская эпоха соответствует периоду эпиплатформенной альпийской тектонической активизации молодых платформ. Ее отличает заметное сокращение эндогенных и усиление роли экзогенных процессов

уранового рудообразования. В активизированных платформенных областях, в опущенных блоках, сложенных слоистыми породами мезозойско-кайнозойского чехла, образовались обширные артезианские бассейны с устойчивым режимом инфильтрации природных вод. В слоях проникаемых сероцветных пород в пределах таких бассейнов, нисходящие потоки кислородсодержащих вод с повышенными содержаниями урана вызывали окисление пород, во фронтальной части которого на региональных восстановительных барьерах происходило массовое отложение урановых руд. В этих условиях сформировались инфильтрационные урановые месторождения роллового типа, получившие широкое распространение в Кызылкумском и других урановорудных районах.

В речных палеодолинах, вскрывавших кристаллический цоколь молодой платформы Забайкальского региона, также формировались пластово-инфильтрационные месторождения (Витимский ураноносный район). В прибрежных зонах внутренних морей, в битуминозных пиритсодержащих глинах, шло массовое накопление ураноносных костных остатков рыб, которые в процессе диагенеза превратились в стратиформные месторождения (Каспийский урановорудный район).

Анализ распределения запасов и прогнозных ресурсов урана, присущих каждой из упомянутых выше эпох уранового рудогенеза, показывает, что в рамках фанерозоя обнаруживается отчетливое нарастание продуктивности рудообразующих процессов от раннепалеозойской эпохи к кайнозойской. При этом отмечается закономерная смена во времени промышленногенетических типов урановых месторождений эндогенной серии, определявших металлогенический облик древних эпох уранового рудогенеза, постепенно появившимися в фанерозое урановорудными скоплениями экзогенной серии, которые в кайнозое явились главным промышленно-генетическим типом.

Такая закономерность изменения условий уранового рудообразования в геологической истории, выявленная советскими геологами [Гидротермальные..., 1978; Казанский и др., 1978; Лаверов и др., 1986] на основании изучения месторождений, расположенных на обширной территории бывшего СССР, соответствует общим глобальным закономерностям эволюции рудогенеза, обусловленного изменением геологических процессов по мере развития Земли как планеты.

УРАНОВОРУДНАЯ СЫРЬЕВАЯ БАЗА РОССИИ

Распад Советского Союза и отделение от России бывших союзных республик привели к неизбежному разделению урановорудной сырьевой базы бывшего СССР. Естественно, что к России отошли только те урановорудные районы, которые располагаются на территории Российской Федерации.

Три таких района находятся на территории Забайкальско-Южноякутского региона и один – в Зауралье.

В Забайкальско-Южноякутском регионе известны урановорудные поля и месторождения, которые составляют основу современной сырьевой базы урана Российской Федерации. Во-первых, это Стрельцовское рудное поле с уникальными запасами гидротермальных молибден-урановых руд. Эти руды разрабатываются начиная с 1967 года. К настоящему времени отработана примерно половина разведанных запасов, оставшееся количество урана в недрах можно оценить в 100–120 тыс. т.

Важным будущим источником урана может явиться Эльконский урановорудный район, находящийся в Южной Якутии. Золото-урановые руды месторождений этого района были открыты в конце 60-х годов прошлого столетия. Их разведанные балансовые запасы оценены более, чем в 300 тыс. т. Прогнозные ресурсы урана в этом районе определены примерно тем же количеством. Однако относительно низкие (~0,14 %) средние содержания урана в рудах и, в связи с этим, большие затраты на переработку руд, а также слабая освоенность района вынудили руководство принять решение о переводе месторождений Эльконского района в резервную группу.

Проведенные в последние годы технологические исследования с применением современных методов извлечения урана и предложенные схемы эффективной добычи руд позволили разработать экономически приемлемые способы освоения золото-урановых месторождений Эльконского района, что явилось основанием для перевода разведанных запасов этого района в балансовую категорию.

Третий урановорудный район Забайкалья – Витимский. В этом районе уже выявлено 8 пластово-инфилтратационных урановых месторождений в палеодолинных отложениях. Эти месторождения пригодны для эксплуатации способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ). Прогнозные запасы урана этих высокорентабельных руд могут составить первые десятки тыс. т.

Кроме того, на территории Забайкалья имеется несколько ранее выявленных и разведанных урановых месторождений мелких-средних масштабов, которые также являются дополнительным резервом.

В Зауральском районе выявлены три относительно небольших пластово-инфилтратационных урановых месторождения, два из которых уже эксплуатируются методом СПВ.

В восточных регионах России выделяется ряд площадей, перспективных для выявления урановых месторождений как эндогенной, так и экзогенной серий.

Работа проводилась при финансовой поддержке Программы № 4 фундаментальных исследований Президиума РАН, направление № 5.

ЛИТЕРАТУРА

- Антропов П.Я. Перспективы поисков промышленных месторождений урана в депрессионных зонах земной коры // Геол. журн. 1969. Т. 29 Вып. 5. С. 75–82.
- Белевцев Я.Н., Данчев В.И., Жуков А.М. и др. Геология и генезис месторождений урана в осадочных и метаморфических толщах. М.: Недра, 1980. 270 с.
- Величкин В.И. Особенности металлогенеза ураноносных областей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 200 с.
- Вольфсон Ф.И., Ищукова Л.П., Вишняков В.Е. и др. Условия локализации гидротермального уранового оруденения в слоистых толщах верхнего структурного яруса // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1967. № 11. С. 114–134.
- Геология гидротермальных урановых месторождений / Под ред. Д.И. Щербакова. М.: Наука, 1966. 443 с.
- Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений / Под ред. Ф.И. Вольфсона. М.: Наука, 1968. 464 с.
- Геология месторождений уран-молибденовой формации / Под ред. А.Б. Каждана. М.: Атомиздат, 1966. 184 с.
- Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования / Под ред. А.И. Перельмана. М.: Недра, 1980. 270 с.
- Гидротермальные месторождения урана / Под ред. Ф.И. Вольфсона. М.: Недра, 1978. 446 с.
- Данчев В.И., Стрелянов Н.П. Экзогенные месторождения урана. М.: Атомиздат, 1979. 288 с.
- Еремеев А.Н., Зонтов Н.С., Лаверов Н.П., Шумилин М.В. // Атомная энергетика и ее топливный цикл. Вена, 1977. Т. 2. С. 329–351.
- Казанский В.И., Лаверов Н.П., Тугаринов А.И. Эволюция уранового рудообразования. М.: Атомиздат, 1978. 208 с.
- Королев К.Г., Белов В.К., Путилов Г.Т. Месторождения фосфорно-урановой метасоматической рудной формации. М.: Энергоатомиздат, 1983. 135 с.
- Крупенников В.А., Толкунов А.Е., Хорошилов Л.В. и др. Геологические структуры эндогенных урановых рудных полей и месторождений. М.: Недра, 1986. 231 с.
- Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. В 3-х томах. Том 2. Стратегические виды рудного сырья. М.: ИГЕМ РАН, 2006. 672 с.
- Лаверов Н.П. Геологические условия формирования урановых месторождений в областях континентального вулканизма. Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: Фонды ИГЕМ РАН, 1972. 372 с.
- Лаверов Н.П., Винокуров С.Ф. Условия образования крупных полихронных месторождений урана (на примере Северной Австралии). М.: ВИНИТИ, 1988. Т. 21. 164 с.
- Лаверов Н.П., Запорожцев В.А., Канцель А.В. Некоторые особенности геологии уран-молибденовых месторождений, приуроченных к субвулканическим интрузивам кислых пород // Геология руд. месторождений. 1965. № 6. С. 34–48.
- Лаверов Н.П., Смилкстын А.О., Шумилин М.В. Зарубежные месторождения урана. М.: Недра, 1983. 320 с.

Лаверов Н.П., Рыболов Б.Л., Величkin В.И. и др. Основы прогноза урановорудных провинций и районов. М.: Недра, 1986. 206 с.

Лаверов Н.П., Величkin В.И., Шумилин М.В. Урановые месторождения стран содружества: основные промышленно-генетические типы и их размещение // Геология руд. месторождений. 1992. № 2. С. 3–18.

Месторождения радиоактивных и редких металлов. М.: Атомиздат, 1973. 336 с.

Месторождения урана и редких металлов / Под ред. Н.П. Лаверова. М.: Атомиздат, 1976. 288 с.

Образование месторождений урана. М.: Мир, 1976. 608 с.

Петров Р.П., Карпенко В.С., Мещерский Ю.А. О месторождениях урана в железорудных формациях докембрия. М.: Атомиздат, 1969. 72 с.

Рудные месторождения СССР / Под ред. В.И. Смирнова. М.: Недра, 1974. Т. 2. 392 с.

Рыболов Б.Л. Структурные особенности и вопросы генезиса урановых месторождений, залегающих в черных сланцах и карбонатных породах // Геология руд. месторождений. 1965. № 2. С. 3–24.

Справочник геолога по поискам и разведке месторождений урана / Под ред. Н.П. Лаверова. М.: Недра, 1989. 266 с.

Условия образования месторождений урана в вулканических депрессиях / Под ред. А.И. Тугаринова. М.: Атомиздат, 1972. 312 с.

Шувалов Ю.М., Бузовкин С.В., Булычев А.В. Промышленные типы урановых месторождений и методика их поисков. Л.: Недра, 1984. 263 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ю.Г. Гатинский, Д.В. Рундквист, Г.Л. Владова, Т.В. Прохорова</i> СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЛАВНЕЙШИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ	13
<i>В.И. Осипов, Н.И. Фролова, С.П. Сущев, В.И. Ларионов</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО И ПРИРОДНОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	28
<i>В.И. Величкин, Б.П. Власов, М.В. Шумилин</i> ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЫВШЕГО СССР И РОССИИ	49
<i>С.А. Дмитриев, В.И. Величкин, Б.И. Омельяненко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО УРОВНЕЙ РАДИОАКТИВНОСТИ	64
<i>В.И. Величкин, В.И. Мальковский, Н.Н. Тарасов, Ю.П. Диков</i> АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ ОЗЕРА КАРАЧАЙ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	77
<i>Б.И. Омельяненко, В.И. Величкин, С.В. Юдинцев</i> ПОВЕДЕНИЕ АКТИНИДОВ В УСЛОВИЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	86
<i>С.В. Юдинцев, Б.И. Омельяненко</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТЕХНЕЦИЯ	99
<i>И.Н. Соловов, А.К. Лисицын</i> ПОЛИЭЛЕМЕНТНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И МЕТАЛЛЫ, ИЗВЛЕКАЕМЫЕ СЕРНОКИСЛОТНЫМ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ	109
<i>В.А. Петров, В.В. Полуэктов, Р.М. Насимов, А.А. Бурмистров, С.И. Щукин, Й. Хаммер</i> ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В ГРАНИТАХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОЯТ	124
<i>В.М. Котляков, Л.Н. Васильев, М.Ю. Москалевский</i> БАЛАНС МАССЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА	139

<i>Ю.Я. Мачерет, А.Ф. Глазовский, И.И. Лаврентьев</i> ВОДА В ПОЛИТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕПЛЫХ ЛЕДНИКАХ	152
<i>В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов, О.В. Нагорнов, С.А. Тюфлин, И.И. Лаврентьев, С.А. Марченко, В.И. Окопный</i> СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ФИРНОВО-ЛЕДЯНОЙ ТОЛЩИ НА ЗАПАДНОМ ПЛАТО ЭЛЬБРУСА	180
<i>Ю.П. Масуренков, А.Л. Собисевич</i> ЭЛЬБРУССКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ – ИНДИКАТОР ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО И ФЛЮИДНОГО СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНА	189
<i>А.Н. Хименков, Г.З. Перльштейн, Д.О. Сергеев, А.Н. Власов, В.П. Мерзляков, Ю.В. Халилова</i> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РИСКА ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ	205
<i>Е.В. Коротеева, Е.И. Вейсберг, Н.Б. Куюнцева, С.А. Лесина</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНЫХ ПРЕДГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА	213
<i>А.Ю. Кудеярова</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ ПРИ ЗАФОСФАЧИВАНИИ КИСЛЫХ ПОЧВ	223
<i>И.В. Галицкая, И.А. Позднякова, Л.С. Томс</i> МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПРИРОДНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ РИСКОМ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	239
<i>Л.С. Кучмент, А.Н. Гельфан</i> СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МАШТАБОВ И РИСКА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА	252
<i>В.В. Адушкин, П.П. Фирстов</i> ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ В АТМОСФЕРЕ	264
<i>А.Ю. Озеров</i> МЕХАНИЗМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ФОНТАНИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВУЛКАНОВ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ПРИРОДНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ)	279
<i>О.В. Руденко, А.Л. Собисевич, Л.Е. Собисевич</i> О ФИЗИКЕ АКУСТИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ И МЕДЛЕННЫХ ВОЛНАХ В ГРАНУЛИРОВАННОЙ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ	299
<i>В.Н. Николаевский</i> ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – СОБЫТИЯ И ПРЕДВЕСТИКИ УДАРА	316
<i>Б.В. Левин, Г.В. Шевченко, В.М. Кайстренко, Т.Н. Ивельская, Т.К. Пинегина, Н.Г. Разжигаева</i> ПРОБЛЕМА ЦУНАМИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АСПЕКТ)	332
<i>В.А. Семенов, И.И. Мохов, М. Латиф</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РЕГИОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ	355

<i>Ю.Н. Авсюк, А.Л. Собисевич</i> ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ – ЛУНА – СОЛНЦЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ	373
<i>В.Ч. Хон, И.И. Мохов</i> ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА К ИЗМЕНЕНИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	392
<i>В.М. Григорьев, Л.В. Ермакова, А.В. Мордвинов, Ю.А. Наговицын, А.Г. Тлатов, В.Г. Иванов, Е.В. Милецкий, Е.Ю. Наговицына, А.И. Хлыстова, С.А. Язев</i> ВОЗНИКНОВЕНИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ, ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ И НА ДЛИТЕЛЬНОЙ ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ	399
<i>С.И. Сороко, В.П. Рожков, Е.Г. Сергеева, С.С. Бекшаев, С.С.Андреева, И.В.Николаев</i> ОСОБЕННОСТИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ И ГЕМОДИНАМИКИ МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО И ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО СЕВЕРА	413

Научное издание

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

В 2 томах

Том 2

ГЕОЛОГИЯ УРАНА, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ

*Печатается по решению Научного совета Программы
фундаментальных исследований президиума РАН № 4*

Ответственный составитель д.ф.-м.н. Собисевич Алексей Леонидович

Технический редактор В.И. Горбенко
Компьютерная верстка К.А. Мордвинцев
Корректор С.Б. Суслова

Подписано в печать 05.09.11. Формат 60×90/8
Гарнитура Таймс. Бумага мелованная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 54. Тираж 200 экз.

ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
123995 ГСП-5, Д-242, Москва, ул. Б. Грузинская, 10

Отпечатано в типографии издательства «ПРОБЕЛ 2000»
109544 Москва, ул. Рабочая, 91