

**А.А.СМЫСЛОВ**, д-р геол.-минерал. наук, профессор  
**А.В.КОЗЛОВ**, д-р геол.-минерал. наук, профессор, akozlov@spmi.ru  
Санкт-Петербургский государственный горный университет

**A.A.SMISLOV**, Dr. in geol. & min. sc., professor  
**A.V.KOZLOV**, Dr. in geol. & min. sc., professor, akozlov@spmi.ru  
Saint Petersburg State Mining University

## **РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УРАН И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ**

Современное состояние минерально-сырьевой базы урана свидетельствует о том, что объем добычи урана на российских месторождениях и в настоящее время, и в ближайшее пять лет не сможет обеспечить даже внутренние потребности страны. За последние 15-20 лет не открыто ни одного крупного или уникального по масштабам рентабельного месторождения урана. Предлагаемые в последние годы районы геолого-разведочных работ и ожидаемый в их пределах прирост прогнозных ресурсов  $P_1$  в количестве 5-10 тыс.т свидетельствуют о низкой потенциальной ураноносности выделенных перспективных площадей, на которых открытие крупных ураново-рудных объектов маловероятно. Эта ситуация требует поиска путей повышения эффективности прогнозирования перспективных ураноносных структур в сложившихся условиях.

На основе анализа проблем формирования урановых месторождений выделены главные ураноконцентрирующие процессы и рассмотрены основные промышленные типы урановых месторождений. На примере уникальных месторождений района Атабаска (Канада) рассмотрено несколько разорванных во времени подготовительных и рудоконцентрирующих процессов, последовательно участвующих в рудообразовании. Сравнительная характеристика месторождений провинции Атабаска и Приладожья свидетельствует о проявлении при образовании последних меньшего числа рудогенерирующих процессов, что определило существенно более низкий ураноносный потенциал этих объектов.

Анализ состояния сырьевой базы урана и потенциальной ураноносности геологических структур территории России позволил сделать вывод о необходимости усиления геологической направленности прогнозно-металлогенических и поисково-разведочных работ за счет расширения и углубления комплекса геологических, геофизических, минералого-геохимических и других исследований с целью выявления структурно-вещественных особенностей перспективных на уран геологических формаций и структур, а также изучения эволюции рудообразующих систем.

**Ключевые слова:** ураноносная провинция, ураноносность, Приладожье, Атабаска.

## **REGIONAL FORECASTING AND METALLOGENIC STUDIES OF URANIUM AND THEIR ROLE IN THE FORMATION OF THE MINERAL RESOURCE BASE OF NUCLEAR INDUSTRY IN RUSSIA**

Review of the up-to-date state of the mineral resources base of uranium shows that the current value of uranium production from the Russian ore deposits can not supply even the country's internal needs as at present so in the close five year future. In the vastest country, any large nor super-large ura-

uranium ore deposit was not discovered during last two decades or more. Actually advised for prospecting areas have within their limits an appraised amount of 5-10 thousand tons of the metal as hypothetical resources (P<sub>1</sub> category), which indicates the principally low potential of those territories, the low probability to discover there some large uranium ore bodies. The situation needs to research some ways for more effective forecasting of promising uranium-bearing structures. For the purpose, the principal commercial type of uranium deposits are considered on the base of analysis of their ore-forming and uranium-concentrating processes. By example of the unique ore bodies of the Athabasca region, there are distinguished several, disengaged in time, preparative and concentrating processes subsequently participating in the uranium ore forming. Comparison of deposits in the Athabasca province and the Ladoga region shows that in the latter ones ore bodies are connected with the lesser number of ore-generating processes, and thus, those objects have the lower uranium-bearing potential. In the whole, analysis of the actual state of the uranium mineral resources base and the potential uranium-bearing of the Russia's geological structures leads to conclusion about necessary strengthening of geological trend in metallogeny-forecasting and prospecting for uranium. It means development of the complex geological, geophysical, mineralogical-geochemical and some other types of investigations aimed for revealing of the structural-substantial peculiarities in the uranium-promising formations and geological structures, as well as to thorough study of the ore-forming systems evolution.

**Key words:** uranium mineral resource, uranium-bearing, Athabasca Ladoga region.

Урановые руды относятся к числу относительно новых видов минерального сырья, интерес к которому проявился лишь в 40-х гг. XX в. благодаря уникальным свойствам атомов урана, позволяющим использовать его в военных (атомные взрывные устройства) и мирных (выработка электроэнергии) целях. Атомный век человечества после Второй мировой войны начался с невиданных по своим масштабам поисков уранового сырья, прежде всего в Советском Союзе, Соединенных Штатах Америки, Франции, Канаде, Австралии, а в дальнейшем и в большинстве других стран мира. Объемы геолого-разведочных работ и территории поисков особенно увеличились в 60-70-е гг. XX в. в связи с активным строительством атомных электростанций в СССР, Великобритании, Франции.

Интенсивность и масштабы поисков урана в этот период обеспечили открытие целой серии уникальных по масштабам ураноносных провинций и месторождений на всех материках планеты. Были созданы разнообразные объекты ядерно-топливного цикла (от урановых рудников до полигонов по захоронению радиоактивных отходов), деятельность которых регулируется правительственными органами и Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ).

В перспективе к концу XX в. предполагалось довести среднемировую выработку электроэнергии на атомных электростанциях до 20-40 % [2]. Однако прогнозы ускоренного роста атомной энергетики оправдались лишь частично; вклад АЭС к началу XXI в. составил лишь 15-17 % от общего мирового объема вырабатываемого электричества. Вместе с тем наметилась резкая дифференциация стран по производству энергии на АЭС, от существенно атомных держав (75-80 % во Франции, 60 % в Бельгии) до безъядерных стран (Норвегия, Узбекистан, Австралия и др.).

Большинство ведущих капиталистических и развивающихся стран мира (США, Япония, Китай, Индия и др.) в начале XXI в. планировали существенно увеличить производство электроэнергии на АЭС. В России принята долгосрочная программа значительного увеличения суммарной мощности АЭС за счет ввода новых энергоблоков. Поэтому, как и для других стран, для России, где существенно сократились складские запасы урана, а его добыча в несколько раз отстает от потребления, выявление новых урановых месторождений и провинций весьма актуально.

Конечно, встает вопрос о корректировке планов развития атомной энергетики после крупнейших аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС Фокусима 1. После аварии на АЭС в

Японии, которая стала следствием катастрофического цунами, население ряда стран начало активно протестовать против атомной энергетики. Но полезно вспомнить, что и другие виды получения электрической энергии не гарантируют полной безопасности. Например, прорыв плотины ГЭС Баньяо в Китае в 1975 г. унес жизнь более 171 тыс. человек, а в результате перелива воды через плотину Вайонт в Италии в 1965 г. погибло более 2 тыс. человек. Поэтому конструктивнее рассматривать вопрос о повышении безопасности эксплуатации энергетических установок любого типа, тем более, что возражая против развития ядерной энергетики, нужно быть готовым к сокращению потребления электроэнергии, на что население развитых стран, скорее всего, не согласится.

Целью настоящей статьи является анализ роли прогнозно-металлогенических исследований в формировании минерально-сырьевой базы СССР, рассмотрение ее современного состояния в России и поиск путей повышения эффективности прогнозирования перспективных ураноносных структур в сложившихся условиях.

**Проблемы формирования, типы урановых месторождений и их промышленное значение.** Высокая миграционная способность шестивалентного урана ( $U^{+6}$ ) и его соединений – гексафторида урана- $UF_6$ , уранилкарбонатных  $[UO_2(CO_3)_2]^{-2}$  и других комплексов – обусловили формирование в верхних слоях земной коры многочисленных первично специализированных на уран горных пород (осадочных, магматических и метаморфических), а также многочисленных эпигенетических урановых месторождений, образование которых происходило при участии как эндогенных, так и экзогенных геологических процессов.

Выполненные комплексные геолого-геохимические исследования горных пород и руд практически во всех регионах Советского Союза позволили установить основные закономерности сингенетической миграции урана и тория в ходе процессов осадконакопления, магматической дифференциации и

регионального метаморфизма, а также его эпигенетического перераспределения в эндогенных и экзогенных условиях. В ходе радиогеохимического и гидрогеохимического картирования были установлены три составляющие геохимического поля литосферы: геохимический близкларковый фон, первый уровень сингенетического накопления урана до 10-30 кларков и второй, эпигенетический, уровень концентрации урана до 1000 и более кларков. По материалам этих исследований определены средние содержания урана в главнейших типах горных пород и руд, развитых в пределах континентальных блоков земной коры (рис.1) [17], где достаточно надежно закартированы не только специализированные по урану и торию комплексы горных пород, но и территории с нарушенным по отношению к первично-конституциональному распределению урана, участки выноса металла и зоны его эпигенетического накопления [25, 26, 31]. В метеоритах и магматических породах ультраосновного состава, являющихся производными верхней мантии, содержание урана на два-три порядка ниже, чем в земной коре и колеблется в пределах  $n \cdot 10^{-5}$  -  $n \cdot 10^{-7}$  %.

Рудные концентрации урана, образующие промышленные месторождения, связаны в основном с эпигенетическими процессами преобразования горных пород, для которых по результатам радиогеохимического, радиогидрогеологического картирования и минералого-геохимических исследований в большинстве случаев устанавливаются зоны мобилизации (выноса) урана, пути миграции по проницаемым горизонтам или структурам и зоны рудоотложения на окислительно-восстановительных, сорбционных, термодинамических или иных барьерах.

Благодаря работам А.И.Перельмана [20] и его учеников, эти процессы наиболее детально изучены на гидрогенных инфильтрационных месторождениях в зонах пластового окисления артезианских суборогенных осадочных бассейнов в регионах Средней Азии и на юге Казахстана, а также на месторождениях Косче-



Рис. 1. Уровни накопления урана (на шкалах в граммах на тонну и процентах) в горных породах и рудах континентальной земной коры

1 – глины и глинистые сланцы; 2 – пески и песчаники; 3 – известняки и доломиты; 4 – углеродистые сланцы; 5 – гнейсы; 6 – граниты; 7 – вулканиты; 8 – коры выветривания; 9 – литологические границы; 10 – тектонические нарушения; 11 – бедные руды; 12 – рядовые и богатые руды

ка и Рудное (Казахстан) в углеродистых формациях раннего палеозоя.

Выделенные на рис.1 три генетические группы урановых месторождений существенно отличаются по содержанию урана в рудах: гидрогенные, наиболее бедные (0,02-0,1 %), гидротермальные рядовые (0,1-0,4 %), полигенные с широким диапазоном содержаний от бедных и рядовых руд до богатых (0,5-5 %) и ультрабогатых (более 5 %). Сочетание этих процессов и геологические обстановки их проявления при образовании месторождений урана могут быть разными. Мы выделяем четыре группы:

1. Первичное накопление урана в лейкократовых гранитах складчатых областей с последующим гипергенным обогащением металлом формирующихся по ним кор выветривания (месторождения Горное и Березовое в Забайкалье).

2. Сингенетическое обогащение граносиенитов с последующим наложением пегматоидных и гидротермальных процессов концентрирования (крупное месторождение Россинг в Намибии, мелкие объекты в России).

3. Сингенетическое накопление акцессорных высокорadioактивных минералов (уранинита, монацита и др.) в конгломератах и песчаниках, а также урана в углеродистых породах раннего протерозоя с последующим перераспределением в метаморфическую стадию и накоплением урана в гидротермальную фазу (крупнейшее месторождение урана и золота Витватерсранд, ЮАР).

4. Неоднократное наложение гидротермально-метасоматических и гипергенных процессов накопления металлов на первично-специализированные углеродистые и другие формации вблизи зон региональных структурно-стратиграфических несогласий позднего протерозоя (крупные и уникальные месторождения Сигар-Лейк, Мак-Артур и др. в Канаде, Джабилука, Наберлек и др. в Австралии).

В полигенных месторождениях первых трех групп содержание урана составляет 0,08-0,2 %, в то время как в месторождениях типа «несогласия» (четвертая группа) отмечены максимально высокие содержания урана (в Австралии в среднем 0,2-2 %, в Канаде – до 12-15 % и более).

Производство урана из месторождений различных геолого-промышленных типов\* в 1998 г.

Тип месторождений	Производство, тыс.т	% от общего	Примечание
«Несогласия»	14,2	40,2	Канада, Австралия
Песчанниковый	8,7	24,7	Добыча подземным выщелачиванием в США, Казахстане, Узбекистане; горным способом в Нигере
Жильный	5,0	14,2	В том числе месторождения в вулcano-тектонических структурах (Россия)
Гранитный	3,3	9,3	Месторождения России, Намибии
Метасоматический	1,0	2,8	Месторождения Украины
Золотоносные конгломераты	1,0	2,8	Месторождения ЮАР
Брекчиевый с медью, золотом и серебром	1,5	4,2	Уникальное месторождение Олимпик-Дам, Австралия
Жильный с медью	0,25	0,7	Месторождения Индии
Фосфориты	0,4	1,1	США, Бельгия
Всего	35,4	100	

\* Классификация урановых месторождений МАГАТЭ.

Если разные генетические группы урановых руд (рис.1) существенно отличаются по уровню концентрации металла, то масштабы запасов месторождений в какой-то степени инвариантны по отношению к их генезису и геологическим обстановкам локализации. В частности, крупные и уникальные месторождения урана встречаются во всех генетических группах и среди многих геолого-промышленных типов.

По классификации МАГАТЭ выделяется девять основных геолого-промышленных типов месторождений, имеющих различное промышленное значение (табл.1), при этом в каждом из них по вещественным особенностям руд может быть выделено несколько рудных формаций. Все они связаны с двумя рудоконцентрирующими процессами (гидрогенными и гидротермальными) или могут быть полигенными (табл.2).

Для конкретных минерагенических эпох характерно преобладание месторождений урана определенного типа [11]. Так, гидрогенные месторождения роллового типа в песчаниках формируются преимущественно в мезозойско-кайнозойскую эпоху, гидротермальные – в мезозое, в меньшей степени в палеозое и позднем протерозое, полигенные многоактные – в раннем и позднем протерозое. С каждым из выделенных этапов рудогенеза связано формирование крупных и уникальных месторождений урана в России и мире.

После публикации в международном агентстве по атомной энергии (МАГАТЭ) в начале 90-х гг. XX в. сведений об урановом потенциале и добыче урана в нашей стране были приняты градации месторождений по запасам в соответствии с классификацией МАГАТЭ: уникальные (более 50 тыс.т), крупные (20-50 тыс.т), средние (5-20 тыс.т), мелкие (менее 5 тыс.т). При этом для разведанных запасов промышленных категорий учитываются экономические показатели себестоимости добываемого сырья, доллары США/кг: менее 40 – высокорентабельные руды; 40-80 – низкорентабельные руды; более 80 – нерентабельные руды. Такое деление урановых руд по классификации МАГАТЭ отражало существовавшие тогда цены на уран, в существенной мере определяемые технологией его добычи и переработки, и было приемлемо, пока цены на руды были достаточно стабильными (рис.2). Резкий подъем цены на уран в 2005-2007 гг. до 120-140 долларов с последующим динамичным поведением требует переоценки запасов в соответствии с современным уровнем их рентабельности.

В период высокой динамичности цен на урановые руды целесообразно для этой цели использовать методы подсчета запасов, основанные на компьютерном моделировании месторождений, которые позволяют оперативно оценивать запасы с заданным уровнем рентабельности отработки руд [7], с учетом технологии их добычи и переработки.

**Главные ураноконцентрирующие процессы и основные промышленные типы урановых месторождений**

Тип рудоконцентрирующих процессов	Преобладающие рудные минералы	Среднее содержание урана в рудах, %	Главные эпохи рудообразования	Геолого-промышленные типы и ведущие элементы	Технология добычи	Примеры крупных и уникальных месторождений
Гидрогенный инфильтрационный	Урановые черни, коффинит	До 0,02-0,2	MZ	Песчаниковый (U, Se, V)	Скважинное подземное выщелачивание	Инкай, Буденновское и др. (более 500 тыс.т), Казахстан; Витимский район, Россия
Гидротермально-метасоматический	Настуран, браннерит	До 0,1-0,5 (в среднем 0,1-0,2)	MZ-PZ (реже PR2)	Жильный и метасоматический (U, Mo, F, Au)	Горно-металлургический (карьеры, шахты)	Стрельцовский (150 тыс.т) и Эльконский (более 200 тыс.т) ураново-рудные районы, Россия
Сложный, многоактный, полигенный	Браннерит, уранинит, настуран, коффинит, урановые черни, урановые слюды	0,08-0,2	PR1 и PR2	Конгломератовый (Au, U)	Горно-металлургический (шахты)	Витватерсранд (более 200 тыс.т), ЮАР
		До 1-15	PR2	Несогласия (U, V, Au, Ni)	Горно-маталлургический (шахты, скважины)	Сигар-Лейк (более 130 тыс.т), Мак-Артур (более 210 тыс.т), Канада
		0,1-0,2	PR2	Брекчиевый (Cu, Au, U)	Горно-металлургический (шахты)	Олимпик-Дам (более 100 тыс.т), Австралия

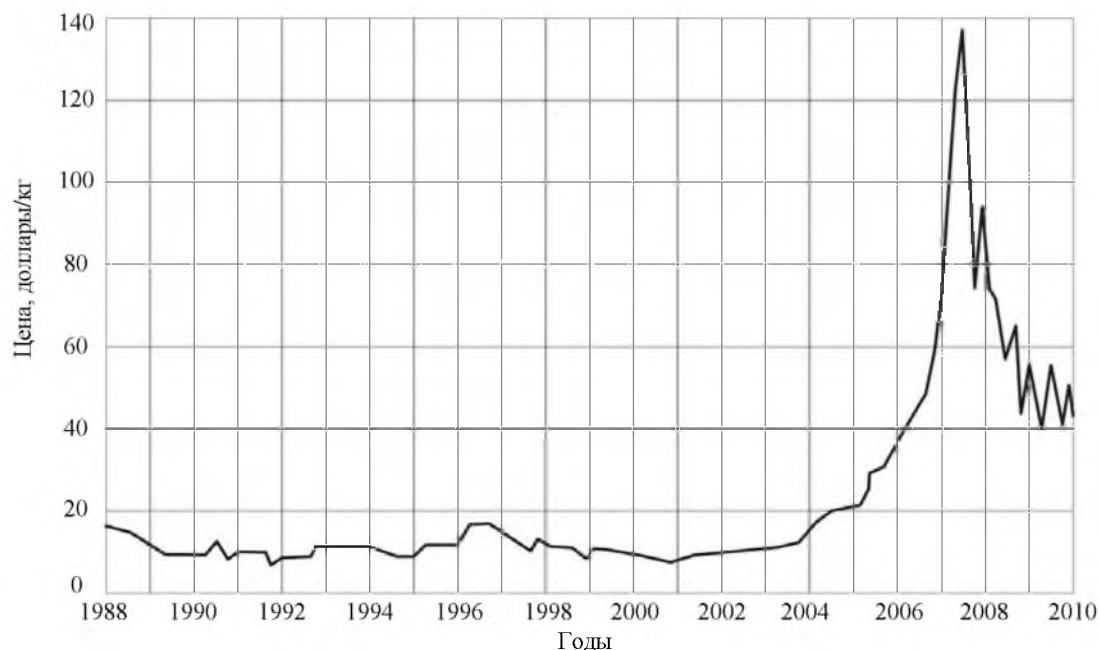


Рис.2. Динамика мировой цены закиси-оксида урана с 1988 по 2010 г.

Источник: Ux Consulting Company, LLC

В России и других странах для извлечения урана из месторождений различных типов применяются, в основном, два технологических способа добычи и переработки руд (или их комбинация):

- горно-металлургический с открытой (карьерными) или подземной (шахты, штольни) выемкой горной массы;
- физико-химическое выщелачивание на месте залегания (подземное выщелачивание с использованием скважинной, шахтной или карьерной технологий) или при незначительном перемещении материала (кучное выщелачивание).

Основной объем добычи урана (около 40 %) горно-металлургическим способом приходится на месторождения «типа несогласий», представленных богатыми рудами (более 1 %  $U_3O_8$ ). На втором месте по добыче урана находится песчанниковый тип бедных по содержанию урана руд, но пригодных для отработки эффективным методом скважинного подземного выщелачивания и потому рентабельных. В связи с намечающимся в ближайшие годы резким увеличением добычи таких руд в Казахстане, песчанниковый тип месторождений может занять ведущее место по объему добычи урана.

В Казахстане основные рентабельные и пригодные для подземного выщелачивания запасы урана связаны с молодыми (кайнозой) гидрогенными месторождениями бедных урановых руд (0,02-0,1 %), образующихся на границе выклинивания зон пластового окисления в суборогенной зоне Чу-Сарысуйской и других впадин. Некоторые из таких месторождений (Инкай, Буденновское) имеют запасы более 200 тыс. т [13].

В отличие от Казахстана, в Австралии и Канаде уникальные не только по запасам, но и по содержанию урана месторождения представлены богатыми и сверхбогатыми рудами сложного полигенного генезиса, которые формировались вблизи региональных зон структурно-стратиграфических несогласий рифейского возраста. В австралийских месторождениях этого типа содержание урана составляет 1-3 % (Джабилука, Рейнджер-1), в Канаде до 10-15 % (Сигар-Лейк и Мак-Артур с запасами 130-200 тыс. т каждое).

По разведанным запасам урановых руд Россия занимает третье место, а большие и близкие запасы таких руд установлены в Казахстане Австралии, и Канаде (рис.3, 4). В большинстве этих и других стран (ЮАР, Бразилия) основные запасы урана связаны с

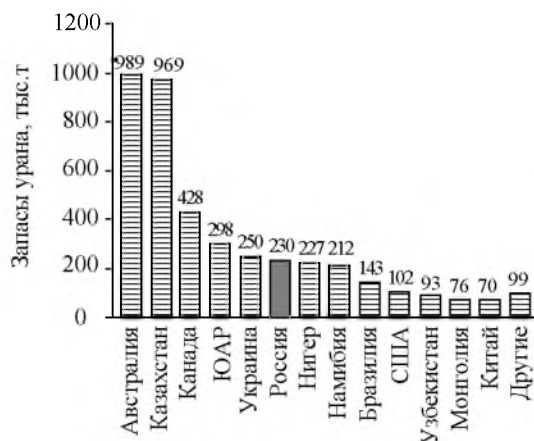


Рис.3. Запасы урана основных добывающих стран при себестоимости урана менее 80 долларов за килограмм (в России около 600 тыс.т при себестоимости более 80 долларов)

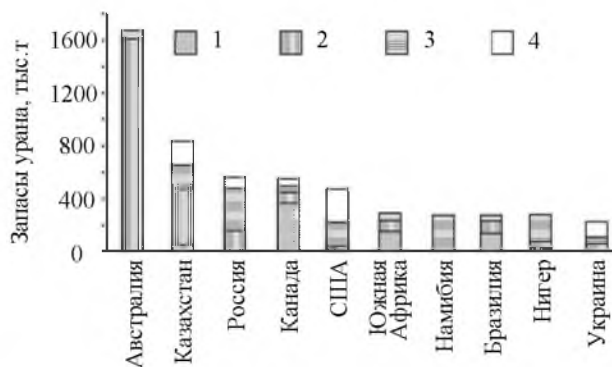


Рис.4. Запасы урана основных добывающих стран с градацией по себестоимости добычи  
1, 2, 3, 4 – себестоимость добычи менее 18, 18-36, 36-60 и 60-120 долларов за фунт  $U_3O_8$  соответственно

крупными и уникальными месторождениями разных генетических типов с низкой себестоимостью добычи (менее 36 долларов за фунт  $U_3O_8$ ), а в России большая часть руд имеет высокую себестоимость добычи (преимущественно 36-120 долларов за фунт  $U_3O_8$ ).

При горно-металлургической технологии рентабельными могут быть комплексные руды, содержащие, кроме основных компонентов (золото, медь и др.), относительно низкие количества урана (менее 0,1%). Таковы, например, золотоурановое месторождение Витватерсранд, медно-золотоурановое месторождение Олимпик-Дам и др.

Для самого богатого в мире уранового месторождения Мак-Артур со средним содержанием урана 17,8% разработан совершенно новый шахтно-скважинный способ отработки руд в комбинации со скважинным гидротранспортом рудной пульпы на поверхность. Целесообразность использования данного способа добычи для бедных и рядовых руд пока не ясна, учитывая малый срок испытания этой принципиально новой технологии.

В отличие от зарубежных урановорудных провинций, на российской территории пока не выявлены высокорентабельные крупные и уникальные месторождения докембрийского возраста «типа несогласий». К сожалению, не обнаружены пока и уникальные объекты песчаникового типа, ана-

логичные месторождениям Казахстана и Узбекистана, которые уже в 80-е гг. XX в. вносили существенный вклад в общий объем добычи, а сейчас выходят на ведущее место в мире.

В целом добыча урана в СССР в 70-80-х гг. достигала 10-17 тыс.т в год, что было существенно больше объемов потребления (5-6 тыс.т в год), в результате чего в стране было накоплено более 200-250 тыс.т складских запасов, которые после распада Советского Союза стали активно продаваться на мировом рынке. В 90-х гг. произошло резкое сокращение добычи урана в России и других странах СНГ, несмотря на большую потребность в уране атомной энергетики. Потребление урана в мире примерно на 25 тыс.т превышает его добычу, а дефицит урана покрывается за счет складских запасов природного и обогащенного урана (рис.5).

За последние 10 лет наиболее существенно увеличили добычу урана Канада, Австралия и Казахстан (в 3-4 раза), благодаря активной эксплуатации крупнейших месторождений мира (Инкай, Мынкудук и др.) методом подземного выщелачивания.

Процессы глобализации, благодаря деятельности МАГАТЭ, активно захватили атомную отрасль ведущих капиталистических стран мира: одни страны являются активными производителями атомного сырья (Канада, Австралия, Узбекистан, Намибия,



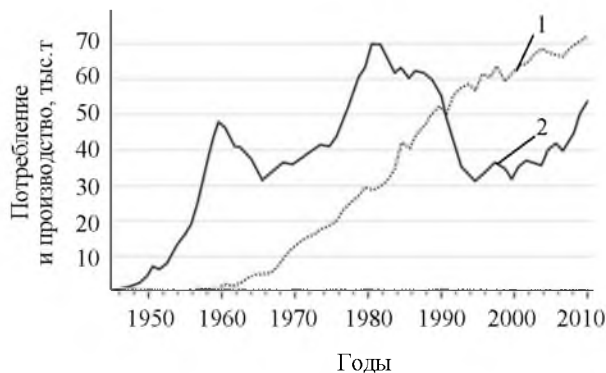


Рис. 5. Соотношение потребления урана в атомной энергетике (1) и производства урана (2) в мире

Казахстан) и почти не потребляют его внутри страны, другие (США, Франция, Япония и др.) потребляют основную часть урана на АЭС и не добывают уран на своей территории или сокращают его добычу. Многие уранодобывающие компании стали трансконтинентальными.

Отдельные горно-добывающие компании, прежде всего «Согема», в настоящее время AREVA (Франция), участвуют не только в разведке и добыче урана на ведущих урановых рудниках Канады, Австралии и других стран, но и активно, с проведением полевых изысканий, изучают минерально-сырьевой потенциал недр практически на всех континентах планеты, в том числе и на территории России [10].

В период 1990-2005 гг. производство урана в России колебалось в пределах 2,5-3,2 тыс.т, которые добывались на месторождениях Стрельцовского рудного района. За счет промышленной эксплуатации месторождений Зауральского (предприятие «Далур») и Витимского (предприятие «Хиагда») рудных районов объем добычи увеличился лишь до 3364 т в 2009 г.

Прогноз растущих потребностей урановой отрасли в сырье в течение ближайших 5-10 лет до 15-20 тыс.т и реальные прогнозируемые объемы добычи урана (4-5 тыс.т) в России еще более усиливают негативную картину разрыва между производством и потреблением урана при непрерывном и значительном сокращении складских запасов. В этой ситуации необходимо существенное расширение и углубление регио-

нальных и детальных прогнозно-металлогенических исследований, от эффективности которых зависит результативность всех последующих стадий геолого-разведочных работ.

**Региональный металлогенический анализ как основа прогнозирования потенциально ураноносных структур.** Создание и испытание первых атомных бомб в конце Второй мировой войны заставило правительство Советского Союза принять срочные меры по созданию в стране минерально-сырьевой базы урана. До этого момента в СССР были известны лишь небольшие проявления руд в Средней Азии (Тюя-Муюн, Табошар и др.), которые до 40-х гг. прошлого века использовались как источники радия для научных исследований. Эти месторождения в связи с небольшими и частично отработанными запасами не могли быть использованы для производства больших объемов энергетического и оружейного урана, необходимых для загрузки первых реакторов и производства атомных бомб.

Для оперативного открытия новых промышленных месторождений урана на территории СССР были выбраны два пути:

- проведение массовых поисков (по существу с 1944 г.) радиоактивных руд всеми геологическими организациями страны в особенности на известных, в том числе разрабатываемых, месторождениях фосфорных, железных, редкометальных и других руд;

- организация в 1945-1947 гг. специализированной урановой геолого-разведочной отрасли (Первого главного геолого-разведочного управления) с территориальными производственными экспедициями и научными коллективами в ряде отраслевых институтов (ВИМС – головной институт, ВСЕГЕИ, ВИРГ и др.).

С самого начала функционирования урановой службы в Министерстве геологии СССР геолого-разведочные и научно-исследовательские работы были четко регламентированы и включали три стадии (этапа):

- прогнозирование – выделение наиболее перспективных геологических тел и структур для постановки последующих поисково-оценочных работ;

- поиски ураново-рудных скоплений с широким использованием наземных и иных радиометрических методов;

- разведка и оценка запасов и технологических свойств руд с применением больших объемов разведочного бурения и горных выработок.

В условиях, когда в стране отсутствовали ресурсы урана, возникла необходимость прогноза новых типов месторождений и создание таких методов и методологии прогнозирования, которые обеспечили бы надежное выделение потенциально ураноносных геологических структур и регионов с перспективой их освоения на многие десятилетия вперед.

Реальным шагом на пути решения этой прикладной задачи разведочной геологии явились разработанные Ю.А.Билибиным принципы регионального металлогенического анализа [5], которые базировались на фундаментальных достижениях геологической науки и практики. Основой этих принципов стало научное положение о взаимосвязи и взаимообусловленности рудообразования с другими геологическими процессами в историко-эволюционном развитии земной коры.

Состояние и пути возможного развития регионального металлогенического анализа и идей Ю.А.Билибина неоднократно обсуждались на совещаниях, конференциях и освещались в трудах В.И.Смирнова, Е.Т.Шаталова и др. Основные этапы развития регионального металлогенического анализа в области урановой геологии изложены в коллективной статье [6] и многих других более поздних публикациях сотрудников отдела специсследований ВСЕГЕИ, созданного для проведения прогнозно-металлогенических исследований на уран в разных регионах Советского Союза. Именно в этом коллективе на основе принципов Ю.А.Билибина, инвариантных по отношению к генетическим типам месторождений, были разработаны методология комплексного регионального металлогенического анализа и методика составления прогнозно-металлогенических карт как основы для выделения перспективных площадей и последующих поисков рудных скоплений урана.

Комплексный региональный металлогенический анализ потенциальной ураноносности развивался по следующим главным направлениям:

- изучение структурно-вещественных особенностей осадочных, магматических и метаморфических горных пород и эпигенетических наложенных гидротермально-метасоматических и других образований земной коры и составление по этим материалам структурно-формационных основ прогнозно-металлогенических карт;

- историко-эволюционный анализ геологических событий и установление связи с ними процессов мобилизации и металлогенических эпох накопления урана;

- классификация по вещественным признакам установленных проявлений урановой минерализации и их сравнительный анализ с известными в мире рудно-формационными и геолого-промышленными типами урановых месторождений для разработки критериев прогнозирования и поисков перспективных структур, для которых составляются прогнозно-металлогенические карты и даются рекомендации о постановке поисковых работ на конкретных геологических структурах.

Такой комплексный структурно-вещественный и историко-эволюционный анализ, базирующийся на разработанных Ю.А.Билибиным принципах взаимосвязи рудообразования с геологической историей и характером преобразования вещества, обеспечил достоверно обоснованный прогноз потенциально рудоносных структур, в том числе новых ранее неизвестных типов уранового оруденения в самых разных регионах Советского Союза.

Региональные прогнозно-металлогенические исследования, которые проводились сотрудниками ВСЕГЕИ совместно с геологами территориальных экспедиций и научными сотрудниками институтов (ВИМС, ИГЕМ, ДВИМС и др.), обеспечили высокую эффективность последующих поисково-оценочных работ в Казахстане, Средней Азии, Забайкалье и других регионах СССР, где были открыты промышленные гидрогенные и гидротермальные месторождения, в том

числе крупные и уникальные по масштабам объекты [18]. Благодаря этим открытиям, уже в 60-х гг. XX в. в СССР была создана надежная минерально-сырьевая база атомной промышленности, которая в 70-80-е гг. была существенно расширена за счет открытия крупнейших в мире высокорентабельных руд песчаникового типа в Чу-Сарысуйской впадине, гидротермальных руд на Алданском щите, в вулканических структурах Монголии и других регионах.

В последние годы появились публикации по истории формирования минерально-сырьевой базы урана в СССР, в том числе бывших руководителей уранового Главка [12], в которых, к сожалению, роль прогнозно-металлогенических исследований, составляющих первую и очень важную стадию геолого-разведочных работ на уран, фактически замалчивается.

Совершенно очевидно, что достоверно обоснованные и правильно выбранные в процессе прогнозно-металлогенических исследований участки и геологические структуры для поисково-оценочных работ в конечном счете и определяют открытие рудного объекта. В этом случае поиски становятся «делом техники». И наоборот, если район поисков выбран неправильно, никакие поисковые методы или их комбинации не приведут к успеху.

В качестве примера достоверности прогноза, при котором поиски становятся «делом техники», можно привести обнаружение промышленных урановых руд в пределах Тулукуевской кальдеры.

На основе прогнозно-металлогенических работ в юго-восточном Забайкалье коллективом металлогенистов ВСЕГЕИ во главе с П.А.Строной и Г.А.Шатковым в информационном годовом отчете 1958 г. и в окончательном отчете 1959 г. была выделена в качестве наиболее перспективной по комплексу геологических и минералогеохимических признаков Тулукуевская вулканогенно-тектоническая кальдера мезозойского возраста с интенсивным развитием гидротермально-метасоматических процессов и наличием и в кристаллическом фундаменте, и в перекрывающей вулканической

толще горных пород с повышенной радиоактивностью (в том числе в зонах флюоритизации) и литофильной специализацией.

Первый этап поисковых работ в пределах этой перспективной структуры не дал положительных результатов, и только настойчивость коллектива геологов Сосновской экспедиции во главе с О.Н.Шанюшкиным и Л.П.Ищуковой, которые верили в потенциальную ураноносность структуры и правильность прогноза, позволили вскрыть скважинами богатую руду, а в дальнейшем открыть 19 месторождений в пределах уникального по масштабу Стрельцовского рудного поля, основного поставщика урановой руды в Российской Федерации на протяжении почти двух десятилетий. Первая геологическая карта Тулукуевской кальдеры масштаба 1:25000 была составлена при активном участии Г.А.Шаткова.

К сожалению, роль прогнозно-металлогенических исследований в открытии Стрельцовского рудного поля ни в официальных документах первооткрывателей, ни в исторических справках и публикациях [16] не зафиксирована. Лишь в самой последней публикации Е.А.Пятова [23] есть упоминание о выделении П.А.Строной и Г.А.Шатковым перспективной на уран Тулукуевской кальдеры за несколько лет до открытия здесь промышленного уранового оруденения.

Несколько иные по набору геологических и гидрогеологических методов региональные прогнозные исследования институтов ВСЕГЕИ, ВИМС, ИГЕМ совместно с Волковской и Краснохолмской экспедициями сыграли важную роль в прогнозе и поисках крупных и уникальных гидрогенных месторождений рентабельных руд в обрамлении Среднеазиатского орогена. В частности, на основе созданного атласа погоризонтных литолого-фациальных карт Центрально-Кызылкумской провинции, гидрогеологических и радиогидрогеологических исследований (Г.В.Грушевой, Г.М.Шор и др.) было установлено широкое развитие эпигенетических рудообразующих процессов и установлены границы выклинивания зон пластового окисления. Региональные прогнозно-металлогенические исследования, выполненные со-

трудниками ВСЕГЕИ совместно с геологами ВИМС, Волковской и Краснохолмской экспедиций предопределили открытие в депрессионных структурах суборогенных артезианских бассейнов Казахстана и Средней Азии крупнейших гидрогенных месторождений с высокорентабельными урановыми рудами.

Важным элементом в дальнейшем совершенствовании прогнозно-металлогенических исследований явилось картирование не только геологического строения регионов с учетом их тектонического и геодинамического режима, но и эпигенетических геохимических процессов миграции урана и тория, способных привести к формированию рудных концентраций. Эти исследования в отделении урановой геологии ВСЕГЕИ развивались по трем направлениям:

- Разработка методических основ и принципов изучения геохимических полей урана и тория в основных геологических, в том числе ураноносных, структурах земной коры с определением уровней содержаний и формы нахождения урана и тория в минералах и горных породах и закономерностей их распределения в пространстве и во времени на основе составления радиогеохимических карт [24, 26].

- Изучение наложенных процессов околорудного и регионального гидротермального метасоматоза, установление связи с ними геохимических процессов миграции и накопления урана с построением карт гидротермально-метасоматических изменений и потенциально рудоносных зон [22].

- Анализ физико-химических условий миграции урана в гипергенных условиях, в частности в зонах пластового окисления, на основе радиогидрогеологических исследований с составлением гидрогеохимических карт для прогнозирования гидрогенных месторождений урана [25]. Минералого-геохимические, радиогеохимические и радиогидрогеологические исследования позволили для большинства тектонических структур территории страны получить объективную фактографическую основу распределения и миграции урана в ходе сингенетических и эпигенетических процессов и

количественно оценить масштабы миграции металла. На базе этих исследований была разработана методика количественной оценки геохимических ресурсов урана, вовлекаемого в эпигенетическую стадию преобразования вещества в процессе миграции и рудоотложения [27].

В целом в период 1955-1980 гг., благодаря региональным прогнозно-металлогеническим исследованиям, геологами отраслевых институтов и территориальных экспедиций с участием вузов была определена потенциальная рудоносность целого ряда геологических структур в Казахстане, Средней Азии, Забайкалье, на Алданском щите, а также в Монголии. Во всех этих регионах на рекомендованных для постановки поисковых работ геологических структурах были выявлены многочисленные гидротермальные и гидрогенные месторождения, в том числе крупные и уникальные по своим масштабам, но, к сожалению, с относительно низким содержанием урана.

В период перестройки и перехода к рыночным отношениям положение дел в геолого-разведочной отрасли России в целом и урановой в частности существенно изменилось: резко сократились ассигнования, объемы поискового, разведочного бурения и полевых исследований, а также численность персонала.

Кроме значительного сокращения объема финансирования и кадрового потенциала урановой геологии негативным фактором, определившим низкую результативность геолого-разведочных работ на уран явилась существенная недооценка эффективности классических принципов регионального металлогенического анализа Ю.А.Билибина. Вместо дальнейшего развития этих принципов на основе углубленного использования геологических, минералого-геохимических и других данных при прогнозировании начали учитывать отдельные и часто не главные геологические факторы (гранито-гнейсовые купола, зоны коллизии, рифтогенные структуры и т.д.), мифические мантийные сепараторы, абстрактные модели. Не убедительными оказались и поиски полных аналогов геологических обстановок, в кото-

рых размещаются месторождения рентабельных руд (типа золотоурановых конгломератов, «типа несогласий» и др.), в том числе и потому, что полных аналогов месторождений в природе не существует, иногда даже в пределах одного рудного поля.

Не останавливаясь подробно на критике этих узко специализированных методических подходов, можно лишь отметить, что их характеризует отказ от классических принципов комплексного регионального металлогенического анализа, разработанного Ю.А.Билибиным и его учениками, учитывающих конкретные особенности развития геологических процессов, влияющих на рудообразование, и инвариантных по отношению к типам месторождений.

Очевидно, что основные положения регионального металлогенического анализа, сыгравшие важную роль на начальной стадии формирования минерально-сырьевой базы Советского Союза, и в будущем должны сохранить свое ведущее значение при прогнозировании потенциально ураноносных структур, с обязательным использованием результатов анализа новейших геолого-геохимических материалов по основным ураново-рудным провинциям мира.

**Современное состояние минерально-сырьевой базы атомной промышленности России.** Определение, что такое минерально-сырьевая база той или иной отрасли промышленности, к сожалению, отсутствует и в геологических словарях, и в «Горной энциклопедии»\*. Может быть, поэтому данное понятие стало термином свободного пользования. В большинстве стран мира под минерально-сырьевой базой для подавляющего большинства сырьевых ресурсов подразумевается сумма подтвержденных ( $A + B + C_1$ ) и предварительно оцененных ( $C_2$ ) запасов (общие запасы). В обобщающем справочнике М.П.Бежановой и С.К.Бежанова [4] выделены общие запасы ( $A + B + C_1 + C_2$ ) и отдельной строкой подтвержденные ( $A + B + C_1$ ). В публикации использованы справочные материалы по

\* Горная энциклопедия. М., 1984-1991. Т.1-5.  
Mining Encyclopedia. Moscow, 1984-1991. Vol.1-5.

всем странам мира, при оценке минерально-сырьевой базы полезных ископаемых (в том числе и урана) никакого упоминания о прогнозных ресурсах даже категории  $P_1$  нет, не говоря уже о таких малодостоверных категориях как  $P_2$  и  $P_3$ .

В России для большинства твердых полезных ископаемых в минерально-сырьевую базу обычно включают утвержденные в ГКЗ запасы ( $A + B + C_1 + C_2$ ). В урановой геологии в последние годы наметилась тенденция максимального расширения толкования понятия минерально-сырьевой базы за счет включения в нее не только разведанных запасов руд, но и прогнозных ресурсов. Так, геологи Казахстана наряду с запасами промышленных категорий, включая  $C_2$ , отдельной строкой приводят данные о прогнозных ресурсах категории  $P_1$  (табл.3), как наиболее достоверных и подкрепленных данными о пересечениях рудных тел. Наверное, с таким подходом следует согласиться, отметив лишь нецелесообразность суммирования ресурсов и запасов, как это сделано в табл.3.

Многие российские геологи, в том числе руководители программы «Уран России», приняли для определения минерально-сырьевой базы совершенно одиозный вариант, включив в минерально-сырьевую базу не только разведанные запасы ( $B + C_1 + C_2$ ), но и прогнозные ресурсы  $P_1, P_2, P_3$ . Так, в основополагающем докладе Г.А.Машковцева и С.С.Наумова на научно-практическом семинаре утверждается: «Минерально-сырьевая база России включает разведанные запасы и прогнозные ресурсы» [12, с.9]. Остается неясным, данное утверждение сделано на основе каких-то регламентирующих документов или это авторская новация?

Включение в минерально-сырьевую базу не только разведанных запасов урана, но и прогнозных ресурсов привело к совершенно необоснованному и явно завышенным оценкам перспектив ураноносности регионов России. В качестве примера можно привести сведения о перспективах ураноносности Северо-Западного региона РФ (табл.4) из статьи В.К.Кушнеренко [9]. Согласно этим данным, суммарный объем запасов и ресурсов по этому региону (2222,5 тыс. т)

Таблица 3

## Запасы и прогнозные ресурсы урана в основных ураноносных провинциях Казахстана\*

Ураноносные провинции	Генетические типы и рудные формации	Рудовмещающие формации	Месторождения	Запасы и прогнозные ресурсы урана по категориям, тыс.т		
				B + C <sub>1</sub> + C <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	Итого
Шу-Сарысуйская	Эпигенетический пластово-инфильтрационный; урановая в связи с зонами пластового окисления	Континентальная, пестроцветная, глинисто-гравийно-песчаная, меловая и палеогеновая	Мынкудук, Инкай, Буденовское, Акдала, Жалпак, Канжуган, Моинкум, Уванас	434,9	472,1	907,0
Сырдарьинская	Эпигенетический пластово-инфильтрационный; селеново-урановая и уранованадиевая в связи с зонами пластового окисления	Континентальная, пестроцветная глинисто-песчаная, меловая	Ирколь, Карамурун, Харасан, Заречное, Асарчик, Жауткен	143,6	202,2	345,8
Илийская	Эпигенетический пластово-инфильтрационный; урановая в связи с зонами пластового окисления	Терригенные горизонты в юрской угленосно-терригенной формации	Кольджат, Нижне-Илийское	55,0	–	55,0
	Эпигенетический грунтово-инфильтрационный; ураноугольная	Угольные пласты в юрской угленосно-терригенной формации	Кольджат	20,8	–	20,8
	Эпигенетический пластово-инфильтрационный; урановая в связи с зонами пластового окисления	Континентальная, пестроцветная глинисто-песчаная, мел-палеогеновая	Сулучекинское	28,8	–	28,5
Северо-Казахстанская (Кокшетауская)	Гидротермальный, молибденово-урановая, урановая и фосфорно-урановая в зонах березитизации, аргиллизации и альбитизации	Палеозойские терригенные, вулканогенные и карбонатно-терригенные гранитоиды и метаморфические комплексы	Косачинское, Грачевское, Камышповое, Заозерное, Восток-Звездное и др.	234,0	33,0	267,0
Всего				917,1	707,3	1624,4

\* Сушко С.М. Минерально-сырьевая база урановой промышленности Казахстана и перспективы ее расширения / С.М.Сушко, Б.Р.Берикболов, В.Ф.Долгополов // IV Международный форум ТЭК России: Сб. материалов. СПб, 2006. С.224-227.

составляет почти половину мировых разведанных запасов урана [28], при этом в таблице не показано, какой реальный вклад в этот объем вносят предварительно оцененные запасы  $C_2$  и ресурсы  $P_1$ . Реальную же картину промышленной ураноносности этого огромного региона по всем выявленным на данной территории мелким урановорудным объектам характеризуют рентабельные суммарные запасы категории  $C_2$  не превышающие 10 тыс.т, примерно таков же объем достоверно оцененных ресурсов  $P_1$ . Все это вместе составляет всего 1 % от суммы в 2222,5 тыс.т, а все остальное относится к разряду недостоверных, во многом «спекулятивных» ресурсов.

Наиболее правильным при определении современного состояния минерально-сырьевой базы урана представляется использование трех оценочных категорий:

- достоверно подтвержденные запасы  $A + B + C_1$ ;
- предварительно оцененные запасы  $C_2$ ;
- дополнительно оцененные ресурсы  $P_1$  (отдельной строкой).

Запасы категорий  $A + B + C_1 + C_2$  отражают реальный объем минерально-сырьевой базы урана, который может вовлекаться в эксплуатацию с учетом геолого-экономической оценки урановорудных объектов при

текущем уровне цен. Прогнозные ресурсы категории  $P_1$  дают представления о металлогенетическом потенциале территории России, оцененном на данный момент.

После распада Советского Союза для урановой геолого-разведочной отрасли и минерально-сырьевой базы урановой отрасли России сложилась достаточно сложная и в целом неблагоприятная ситуация. Обширные регионы Российской Федерации (по сравнению с Украиной, Средней Азией и Казахстаном) оказались наименее изученными и опоскованными, в особенности глубинными, т.е. наиболее эффективными методами поисков с применением больших объемов бурения.

Большая часть достоверно разведанных и рентабельных запасов оказалась сконцентрированной на территории Казахстана (более 800 тыс.т), что составляет около 25 % общемировых запасов урана и 65 % суммарных запасов СНГ.

На территории России осталось примерно 25 % от запасов урана в СССР и менее 10 % рентабельных запасов по цене менее 80 долларов за килограмм, что при значительном числе российских АЭС и других ядерных установок явно недостаточно для их обеспечения сырьем на длительную перспективу.

Таблица 4

Перспективы ураноносности Северо-Западного региона РФ [9, с.33]

Промышленно-генетические типы урановорудных месторождений	Площадь, тыс.км <sup>2</sup>	Суммарные запасы и ресурсы, тыс.т	Продуктивность площади, т/км <sup>2</sup>
Площади развития черных дикиномемовых сланцев ордовика с урановым оруденением	3,1	616,5	199,3
Площади развития ураноносных конгломератов	10,2	15,0	1,5
Площади развития ураноносных песчаников гдовского горизонта венда	4,7	520,5	106,8
Площади развития ураноносных метасоматитов	34,2	348,8	10,2
Площади, перспективные на обнаружение полигенных месторождений «типа несогласия», всего	44,8	576,8	12,9
В том числе подтип:			
канадский	21,0	385,8	18,4
австралийский	23,8	191,0	8,0
Остальная часть территории активной деятельности «Невскгеологии»	255,7	144,9	0,535
Всего	352,7	2222,5	6,3

Минерально-сырьевая база урана России представлена гидротермальными урановыми рудами Стрельцовского рудного района (Читинская область) с рядовыми (0,1-0,2 %, реже до 0,5 %) и бедными рудами, пригодными для отработки горно-металлургическим способом и частично для кучного выщелачивания [3]. На сырьевой базе Стрельцовской группы молибден-урановых гидротермальных месторождений работает единственное в России крупное горно-добывающее предприятие – АО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение». Общие рентабельные остаточные запасы в этом районе составляют 152 тыс.т со средним содержанием урана 0,16 %, но существенная часть относительно «богатых» (до 0,2-0,5 %) рентабельных руд уже отработана.

В целом по качеству (рентабельности) запасов урана Россия существенно отстает от ведущих уранодобывающих стран мира (среднее содержание урана во многих канадских месторождениях более 1-2 %, в австралийских 0,2-1 %, в российских месторождениях гидротермального генезиса 0,1-0,2 %, в гидрогенных 0,04-0,06 %).

Два других урановых района России: Зауральский с промышленными месторождениями Долматовское, Хохловское и Добровольное и Витимский рудный район, где выявлено восемь месторождений (Хиагдинское, Вершинное и др.), – представлены убогими по содержанию урана рудами ( $n < 0,01$  %) песчаникового типа, пригодными для подземного выщелачивания. Это позволяет отнести их к рентабельным объектам, которые после завершения опытно-методических работ в течение ближайших двух лет выйдут на планируемую добычу до 500-1000 т в год. Суммарные запасы урана промышленных категорий составляют в Зауральском районе 34 тыс.т, в Витимском 43,5 тыс.т.

Таким образом, реальные рентабельные запасы урана России, подготовленные для эксплуатации, составляют всего 230 тыс.т, т.е. около 6 % от общемировых запасов.

В ряде официальных документов Минприроды РФ и других организаций в общий объем рентабельных запасов включаются

гидротермальные руды в докембрийских толщах Эльконского рудного района, для которого приводятся общие запасы объемом 350 тыс.т (что нуждается в уточнении). Повышение цен на уран (до 100-150 долларов за килограмм и более в долгосрочной перспективе) может сделать освоение месторождений Эльконского рудного района рентабельным. При планируемой на ближайшие годы потребности урана примерно в 20 тыс.т (включая экспорт до 10-11 тыс.т и более) современное состояние сырьевого обеспечения атомной отрасли России и на перспективу остается критическим с учетом резкого сокращения складских запасов. Анализ планируемых в последние годы Минприроды РФ объектов геолого-поисковых работ на уран свидетельствует об отсутствии высокоперспективных ураноносных площадей, на которых в короткий срок возможно получение существенного прироста прогнозных ресурсов по категории  $P_1$  с дальнейшей передачей их для проведения геолого-разведочных работ. По мнению М.В.Шумилина [32], для обеспечения объема геолого-разведочных работ на уран, достаточного для выявления необходимых по объему запасов и качеству руд урановорудных объектов, необходимо увеличение финансирования в 5-6 раз по сравнению с 2006 г. (с 14 до 80 млн долларов).

**Потенциальная ураноносность геологических структур территории России.** Дальнейшие перспективы расширения минерально-сырьевой базы урана на территории России связаны, в основном, с открытием слабопроявленных на дневной поверхности или скрытых урановых месторождений. Прогнозирование и поиски таких объектов являются наиболее сложными в геологической практике и требуют, с одной стороны, более достоверного и локального прогнозирования потенциальных рудоносных структур, а с другой, разработки принципиально новых, более глубоких методов поиска или применения больших объемов дорогостоящего бурения.

В этих условиях наряду с использованием основополагающих фундаментальных принципов регионального металлогенического анализа Ю.А.Билибина необходимо



активное применение новых минералого-геохимических, изотопно-геохимических и других методов поисково-оценочных работ на уран, разработка которых началась еще в 60-80-е гг. XX в., но внедрение и развитие в дальнейшем несколько затормозилось. В частности, важным элементом совершенствования прогнозно-металлогенических исследований становится картирование не только геологического строения регионов и благоприятных структурно-формационных комплексов, но и следов проявления эпигенетических геохимических процессов миграции урана и тория, способных привести к формированию рудных концентраций. По существу, речь идет о картировании и картографировании рудообразующей системы во всем ее объеме. В какой-то степени на решение этих вопросов были направлены методы радиогеохимического [24, 25, 26], минералого-геохимического (для зон гидротермальных метасоматитов) [22] и радиогидрогеологического [25] картирования. Эти исследования позволили получить объективную фактографическую информацию о распределении и миграции урана в ходе сингенетических и эпигенетических процессов и количественно оценить масштабы его перераспределения в пределах большинства тектонических структур территории страны. На базе этих исследований была не только разработана методика количественной оценки геохимических ресурсов урана, вовлекаемых в эпигенетическую стадию преобразования вещества и последующее рудообразование [27], но и подсчитаны ресурсы урана для главнейших ураноносных и потенциально ураноносных провинций СССР.

Очевидно, что именно эти исследования, ориентированные на изучение подготовительных миграционных и собственно рудообразующих процессов для целей эффективного прогнозирования, должны в настоящее время получить развитие по следующим основным направлениям:

- радиогеохимическое районирование с целью выделения специализированных на уран блоков земной коры, а также зон мобилизации, путей переноса урана и участков его отложения на геохимических барьерах;

- картирование следов проявления эндогенных эпигенетических процессов преобразования горных пород с анализом поведения урана, уранилкарбонатных и других урансодержащих комплексов в широком диапазоне термодинамических условий гидротермального метасоматизма;

- изучение современных и древних гипергенных процессов эпигенетического преобразования горных пород в корях выветривания и зонах катагенеза осадочных бассейнов с разными типами гидродинамических режимов и геохимических обстановок миграции урана;

- изотопно-геохимическое картирование на основе изучения соотношения изотопов петрогенных и редких элементов (в первую очередь урана и свинца) с составлением изотопно-геохронологических карт для анализа источников рудного вещества и выяснения эволюции, возраста и длительности функционирования рудообразующих систем.

Последнее направление наименее разработано: имеются лишь единичные примеры составления изотопно-геохимических карт, в частности для Кокчетавского срединного массива в Северном Казахстане. Учитывая созданную во ВСЕГЕИ в последние годы современную лабораторную базу для выполнения многофункциональных изотопных исследований, институт способен решить проблему изотопно-геохимического картирования, в особенности при прогнозировании урановых месторождений.

В случае проведения этих исследований при их комплексировании с указанными выше методами можно существенно повысить эффективность и достоверность выделения потенциально рудоносных структур, а также стадий последовательного развития миграционных геохимических процессов, приводящих, в конечном счете, к формированию рудных скоплений. Среди стадий, выделение которых целесообразно проводить с использованием минералого-геохимических методов, можно выделить следующие:

- подготовительная стадия образования геохимически специализированных на уран комплексов пород (прежде всего, углероди-

стых сланцев, отдельных разновидностей гранитов, кислых вулкаников, гнейсов и др.), а также участков с избыточным содержанием легкоизвлекаемого подвижного урана, где могут возникнуть зоны последующей мобилизации этого металла;

- генерационная (эмиграционная) стадия преобразования урана в миграционно-подвижные формы (гексафторид урана  $UF_6$  при температуре более  $60^\circ C$  в эндогенных условиях, уранилкарбонатные комплексы  $[UO_2(CO_3)_2]^{2-}$ ) в подземных кислородсодержащих водах зоны гипергенеза и катагенеза с последующим его выносом из пород;

- миграционная (инфильтрационная) стадия переноса подвижных форм урана гидротермальными растворами по разломам и породам с повышенной проницаемостью или вадозными водами в артезианских и других осадочных бассейнах по проницаемым горизонтам песчаников, корам выветривания и другим образованиям;

- концентрационная (собственно рудообразующая) стадия накопления урана на физико-химических, сорбционных, термобарических или других барьерах с детальным изучением возникающих при этом минеральных и элементных ассоциаций.

Выделение этих стадий базируется, прежде всего, на том, что все эпигенетические (гидрогенные, гидротермальные и полигенные) урановые месторождения формируются в осадочной оболочке и верхней зоне гранитно-метаморфического слоя, т.е. в той верхней части континентальной земной коры, которая наиболее обогащена кислородсодержащими подземными водами, органическим веществом и ураном. В коре промежуточного типа, а также в структурах океанической коры, в том числе в срединно-океанических хребтах, где интенсивно проявилась гидротермальная деятельность, горных пород, сульфидных или окисных руд с повышенной радиоактивностью, тем более проявлений урановой минерализации, не обнаружено.

Содержание урана в океанических базальтах не превышает  $(0,2 \div 1,0) \cdot 10^{-4} \%$ , а в верхней мантии, по оценкам практически всех исследователей, составляет порядка

$10^{-6} - 10^{-7} \%$ . При таком содержании никакие мантийные термобарические сепараторы [1] не в состоянии обеспечить повышение концентрации урана на 5-10 порядков выше, чем в мантии.

Роль мантии при формировании эндогенных, полигенных и, возможно, гидрогенных месторождений сводится, в основном, к дополнительному поступлению в верхние слои земной коры тепловой энергии в результате конвективного теплопереноса, а также флюидов, содержащих фтор, хлор, водород и другие компоненты, что способствует выносу корового урана из горных пород и его миграции по проницаемым структурам в вышележащие горизонты.

При картировании следов проявления рудообразующих процессов, выделении стадий и мест их проявления необходимо учитывать ряд ранее установленных закономерностей и эмпирических фактов, часть которых была отмечена еще В.И.Вернадским. Он неоднократно подчеркивал, что процессы формирования месторождений многих типов, в том числе урана и других литофильных элементов, а также углеводородов, тесно связаны с геохимическими приповерхностными циклами их миграции, которые наиболее активно развиваются в осадочном и гранитно-метаморфическом слоях земной коры при активной роли органического вещества биосферы и подземных вод литосферы. Из всех металлов уран является наиболее типичным представителем верхнекоровых элементов.

Последующие металлогенические и геохимические исследования, в том числе составленные радиогеохимические карты [24, 26], разрезы и колонки, а также выявленные на всех континентах рудные объекты, убедительно показали, что урановые месторождения и специализированные комплексы пород сосредоточены только в пределах континентальной земной коры в осадочном слое и верхней части гранитно-метаморфического слоя (выше зоны проявления гранулитовой фации метаморфизма).

Было установлено также, что для многих урановых месторождений (экзогенных, полигенных и некоторых гидротермальных)

важную роль играли первично обогащенные ураном, ванадием, никелем и другими металлами углеродистые формации в осадочных бассейнах и породах фундамента, которые одновременно выполняли функции источника и осадителя рудного вещества.

Практическим подтверждением роли органического вещества в рудообразовании явилось открытие уникальных по масштабам и концентрации урана месторождений «типа несогласия» в Канаде и в Австралии, располагающихся непосредственно в углеродистых толщах раннего протерозоя, вблизи регионального структурно-стратиграфического несогласия, т.е. на границе осадочного и гранитно-метаморфического слоев.

Другой важной генетической особенностью выявленных на территории СССР гидrogenных и некоторых других типов месторождений является ведущая роль в их образовании подземных вод верхних гидрогеологических этажей молодых орогенов и примыкающих к ним артезианских суборогенных бассейнов. В этих структурах приповерхностные воды зоны аэрации выносили уран из пород фундамента и проницаемых горизонтов песчаников, осуществляли перенос металла и его отложение в восстановительной среде на геохимических барьерах.

Изучение процессов мобилизации и отложения урана и картирование следов их проявления особенно важно при прогнозировании сложных по условиям формирования полигенных месторождений «типа несогласия», выявление которых на территории России представляется особенно актуальным в связи с высокой рентабельностью и большими запасами руд этих месторождений, известных в Канаде и Австралии. Попытки спрогнозировать и выявить подобные руды были предприняты в СССР в самом начале 80-х гг. прошлого века. К сожалению, они не привели к открытию крупных промышленных объектов. Обнаруженные в сходной с зарубежными объектами геологической ситуации месторождения в Приладожье (Карку) и Прионежье (Средняя Падма), оказались богатыми по содержанию урана (до 1 % и более), но достаточно мелкими [15].

Низкая эффективность прогноза таких месторождений, вероятно, связана с тем, что геолого-геохимические процессы мобилизации, миграции и концентрирования урана могут проявляться в разных геолого-структурных обстановках и приводить к существенно отличным по условиям локализации руд ситуациям. Поэтому целесообразно ориентироваться не только на поиски аналогов геологических структур канадского или австралийского типов, но и акцентировать внимание на выявлении геологических ситуаций, в которых могут быть реализованы отдельные типы рудоконцентрирующих экзогенных и эндогенных процессов или их комбинации, участвующие в формировании сложных многоактных полигенных месторождений «типа несогласия».

**Генетические особенности месторождений урана «типа несогласия» районов Атабаска (Канада).** На основе материалов по структурно-вещественным и геохимическим особенностям наиболее характерных для данного типа оруденения рудных районов Атабаска (Канада) можно выделить несколько стадий разорванных во времени подготовительных и рудоконцентрирующих процессов, последовательно участвующих в рудообразовании (рис. 6).

**Сингенетическая подготовительная стадия.** Эта стадия накопления избыточных и поэтому подвижных [26] форм урана в геохимически специализированных осадочных, магматических и метаморфических комплексах пород реализовалась в породах архейско-протерозойского цоколя впадины Атабаска в раннепротерозойское время. Наиболее важными для последующих процессов мобилизации и рудоотложения являются углеродсодержащие формации раннего протерозоя и кислые магматические породы зон интенсивной и многократно проявленной гранитизации. Как показали результаты радиогеохимического картирования докембрийских структур на щитах и срединных массивах, именно в таких осадочных и гранитогнейсовых комплексах возникают благоприятные условия для формирования областей с нарушенным по отношению к первично-конституциональному

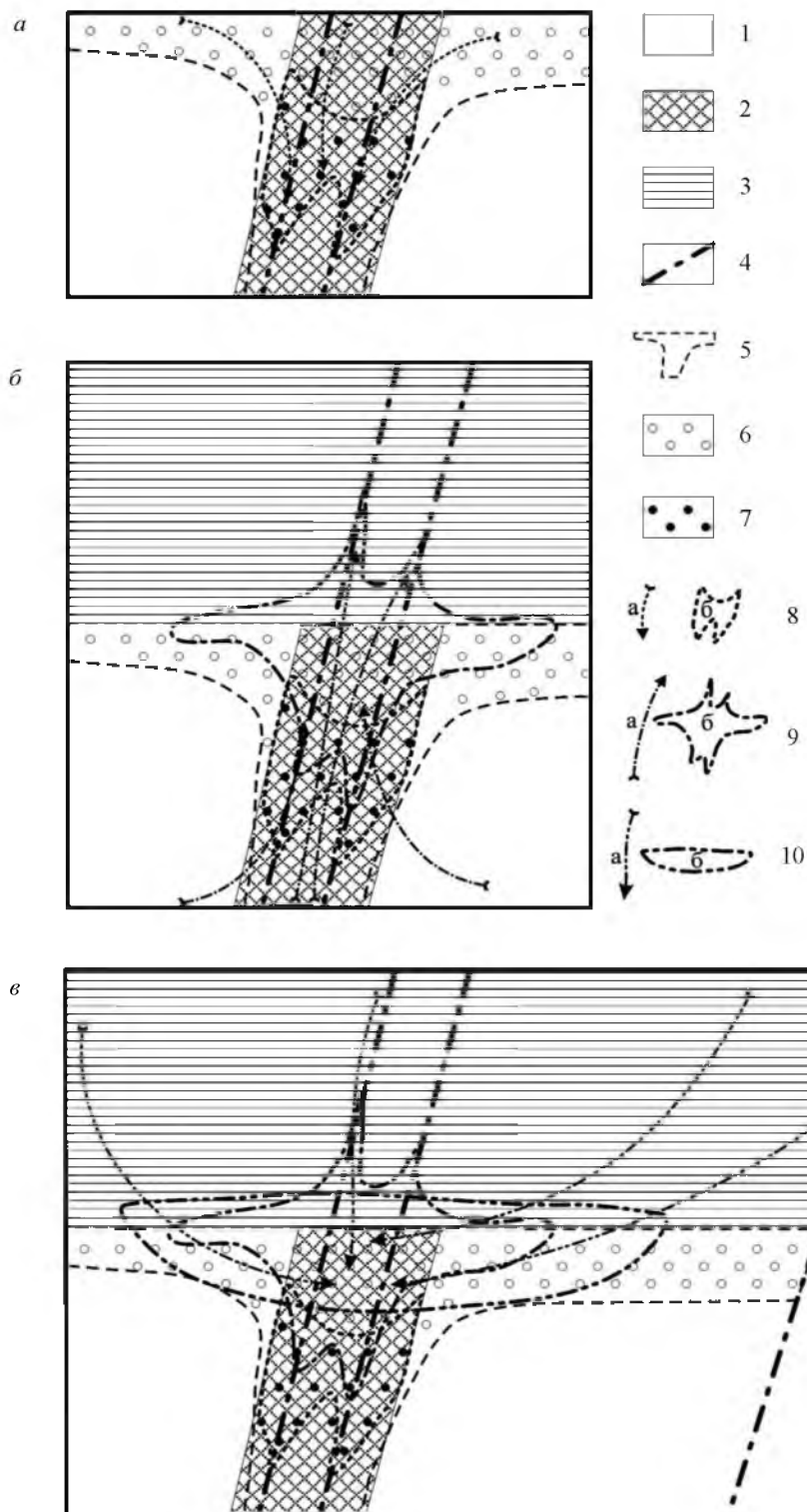


Рис.6. Эпигенетические стадии формирования месторождения «типа несогласия» в пределах впадины Атабаска: *а* – стадия эпигенетической концентрации урана при формировании линейных кор выветривания; *б* – гидротермальная стадия; *в* – водородная стадия

1 – метаморфические породы фундамента (PR<sub>1</sub>); 2 – то же, обогащенные графитом (PR<sub>1</sub>); 3 – терригенные породы осадочного чехла (R); 4 – разрывные нарушения; 5 и 6 – контур коры выветривания и область выноса урана из нее соответственно; 7 – область привноса и концентрации урана в коре выветривания; 8, 9 и 10 – пути миграции (*а*) и области концентрации (*б*) урана соответственно при формировании коры выветривания, при гидротермальных и водородных процессах

распределением урана, зон его выноса и мобилизации при наложении гидротермально-метасоматических и гидрогенных (в зоне гипергенеза) процессов [24]. При отсутствии наложенных эпигенетических преобразований пород геохимический потенциал урана специализированных геологических формаций может оказаться нереализованным.

*Эпигенетические стадии.* Особенно важны эти стадии для формирования месторождений «типа несогласия». Наиболее благоприятным является совмещение в пространстве и последовательное развитие во времени эпигенетических экзогенных и эндогенных процессов мобилизации урана с последующим рудоотложением на геохимических барьерах.

По мнению авторов, в хорошо изученных зарубежных докембрийских провинциях совмещены в геологическом пространстве три эпигенетические стадии, каждая из которых в отдельности может проявляться в простых одноактных гидротермальных или гидрогенных месторождениях как протерозойского, так и фанерозойского возраста.

*Экзогенная стадия эпигенетической концентрации урана* при формировании линейных кор выветривания преимущественно по раннепротерозойским углеродсодержащим сланцам определяет период, предшествующий развитию протоорогенных рифейских впадин. Поверхностные воды, обогащенные кислородом в зоне аэрации, осуществляют перевод урана в подвижную форму в виде уранилкарбонатных или других комплексов и их миграцию сверху вниз по тектонизированным графитоносным породам с повышенным содержанием пирита (рис.6, а). Восстановителями урана в зоне обогащения являлись, вероятнее всего, содержащиеся в этих породах сульфиды и графит, а также продукты их тектонофлюидной переработки. К рудам первой экзогенной стадии, по-видимому, относятся радиологические датировки настурана и других урановых минералов в 1800-1500 млн лет. Такие датировки достаточно часто встречаются в рудах месторождений Австралии и менее проявлены в ураново-рудном районе Атабаска, где наиболее ранние минералы урана имеют

возраст 1500-1600 млн лет [19, 29]. Характерно, что в мелких проявлениях и месторождениях в пегматитах и альбитовых метасоматитах, которые располагаются в породах фундамента за пределами впадины Атабаска, урановая минерализация имеет более древний возраст (2000-1800 млн лет). Можно предполагать, что изотопные отношения в более древних рудах были нарушены в связи с наложением более интенсивно проявленных в пределах впадины Атабаска поздних стадий эпигенетического рудогенеза.

Процесс экзогенного рудообразования в корях выветривания по углеродсодержащим протерозойским породам (своеобразная зона вторичного обогащения), по-видимому, мало отличается от процессов формирования урановой минерализации, установленных в раннепалеозойских углеродистых сланцах на юге Казахстана в месторождениях Косчека и Рудное. На основании изучения содержания урана и радиогенного свинца на этих месторождениях выше рудоносной зоны достаточно уверенно устанавливается зона мобилизации и выноса урана с последующим его отложением по мере распада уранилкарбонатных комплексов в нижележащих горизонтах. Принципиальная схема формирования такого оруденения применительно к месторождениям впадины Атабаска показана на рис.6, а.

*Эндогенная гидротермальная стадия* формирования месторождений связана с процессами тектонофлюидной активизации, которые проявились в процессе образования впадины Атабаска или после его завершения (рис.6, б). Эти процессы за пределами развития рифейских отложений формации Атабаска привели к образованию мелких месторождений, которые представлены ураноносными пегматитами и альбитовыми метасоматитами. Изучение цирконов из пегматоидов, характерных для метаморфического комплекса пород, слагающих основание впадины Атабаска, показало, что в неизменных цирконах Pb-Pb-возраст составляет 1930 млн лет, что близко ко времени образования пегматитов. Во внешних каймах цирконов из пегматитов Pb-Pb-возраст составляет 1350 млн лет, что соответствует

возрасту урановой минерализации ранних генераций на месторождении Мак-Артур (1348, 1358 млн лет). Эти данные свидетельствуют о том, что флюидные процессы с возрастом около 1350 млн лет широко проявились в больших объемах пород кристаллического фундамента и могли быть причиной перераспределения в них урана. Аналогичные процессы в пределах впадины Атабаска имели место и в более поздние периоды: 1100-1050, 900-800 и 300 млн лет [19].

Ведущим элементом контроля урановой минерализации гидротермальной стадии на месторождениях «типа несогласия» района Атабаска является тектонический фактор. Рудоконтролирующие тектонические нарушения отчетливо проявляются как в породах фундамента, так и в рифейских отложениях осадочного чехла. В восточной части впадины Атабаска региональный тектонический контроль осуществляется активной зоной, приуроченной к области сопряжения жесткого блока архейского цоколя с нижнепротерозойскими супракрустальными комплексами группы Волластон. Эта структура северо-восточного простирания является зоной смены с северо-запада на юго-восток гранулитовой фации метаморфизма на амфиболитовую, отчетливо картируется под платформенными рифейскими отложениями и контролирует положение крупнейших месторождений урана Мак-Артур и Сигар-Лейк, а также более мелких ураноносных объектов Ки-Лейк, Мидуест и др.

Локальный контроль урановой минерализации осуществляется более мелкими разрывными структурами, которые преимущественно приурочены к пластообразным телам графитсодержащих метапелитов в породах фундамента. Эти породы выполняли разноплановые функции в процессе формирования урановых месторождений. Благодаря исходному пелитовому составу они были наиболее благоприятными для развития по ним согласных тектонических нарушений, которые выполняли роль раствороподводящих структур. Содержащееся в них органическое вещество являлось источником повышенных концентраций урана, а перейдя в графит в результате метаморфизма, опреде-

лило высокую теплопроводность этих пород и, совместно с характерной для них сульфидной минерализацией, их восстановительные свойства.

Активизированные в породах фундамента тектонические нарушения развивались и в породах осадочного чехла, где они также контролируют урановую минерализацию, которая прослеживается вдоль них по восстанию на расстояние более 200 м от поверхности несогласия (Сигар-Лейк). Однако наиболее масштабное и богатое гидротермальное оруденение приурочено непосредственно к зоне несогласия, захватывая верхние части пластов графитсодержащих метапелитов и перекрывающие их высокопроницаемые осадочные породы базального горизонта формации Атабаска. Совместное влияние этих ведущих рудоконтролирующих факторов отчетливо прослеживается в морфологических особенностях рудных тел (рис. 7).

При рассмотрении генезиса урановых месторождений района Атабаска важное рудоконтролирующее значение отводят графитсодержащим метапелитам с повышенной концентрацией сульфидов, чья роль обычно заключается в следующем:

- осаждение урана на восстановительном барьере за счет наличия в них свободного углерода и сульфидов;
- локализация в метапелитах разрывных нарушений, являющихся раствороподводящими каналами;
- участие электрохимических процессов при рудообразовании за счет присущих графитсодержащим породам электропроводящих свойств.

Повышенная электропроводность графитсодержащих пород позволила использовать электроразведочные поисковые методы в качестве основных при выявлении ураноносных объектов в этом районе.

Кроме того, необходимо отметить и существенно более высокую теплопроводность этих пород – более 5 Вт/(м·К), по сравнению с вмещающими метаморфическими породами – около 2 Вт/(м·К), и перекрывающими нематаморфизованными осадочными отложениями – около 1,5-1,8 Вт/(м·К) [21]. Крутопадающее положение пластов графитсодер-

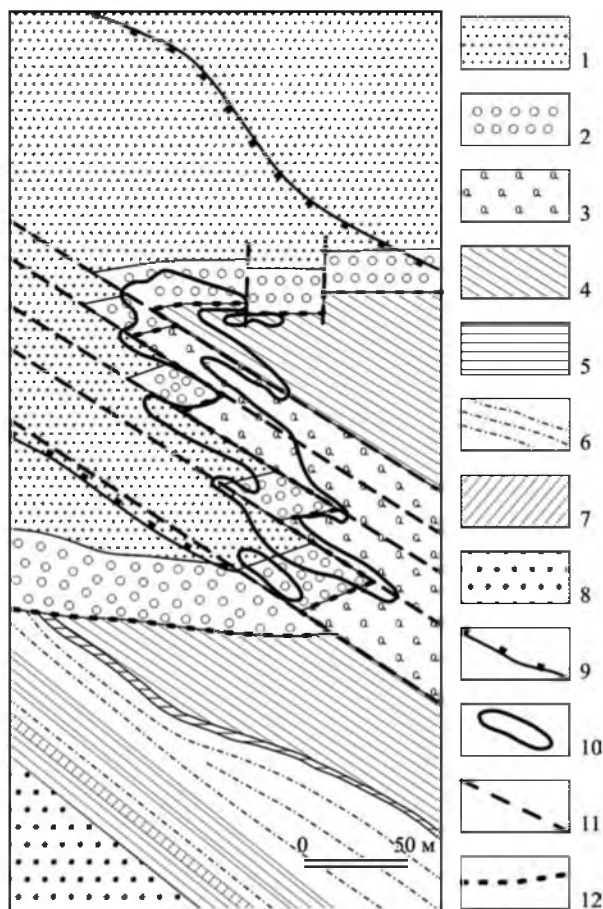


Рис. 7. Особенности распределения уранового оруденения в пределах рудного тела Норт (P2) месторождения Мак-Артур [19]

- 1 и 2 – песчаники и конгломераты формации Атабаска (R) соответственно; 3-8 – породы фундамента (PR<sub>1</sub>): 3 – графитосодержащие метапелиты, 4 – метапелиты, 5 – метасемпелиты, 6 – кремнистые метааркозы, 7 – кальций-силикатные породы, 8 – кварциты; 9 – контур окварцевания песчаников; 10 – рудные тела; 11 – тектонические нарушения; 12 – поверхность несогласия

жащих метапелитов позволяет им выполнять функции эффективного локального теплопроводника, по которому постоянно осуществляется кондуктивный теплоперенос, а в периоды тектонофлюидной активизации и конвективный теплоперенос. Размещение графитосодержащих пород с повышенной теплопроводностью и флюидопродностью под теплоизолирующим экраном, представленным рифейскими породами осадочного чехла, должно привести к заметному разогреву этой области, достаточному для функционирования конвективных гидротермальных систем не только при

проявлении эндогенной активизации, но и в условиях существования стационарного теплового потока, который находит отражение в геотермическом градиенте, характерном для данной области земной коры.

Гидрогенная эпигенетическая стадия формирования оруденения связана с циркуляцией кислородсодержащих пластовых вод по проницаемым горизонтам терригенных отложений сверху вниз и по латерали с интенсивным выносом урана и последующим отложением металла в рудном теле вблизи зоны структурно-стратиграфического несогласия (см. рис. 6, в). О значительном выносе урана из интенсивно окисленных песчаников рифея впадины Атабаска свидетельствуют anomalно пониженные содержания урана (до  $\leq 1 \cdot 10^{-4} \%$ ), не характерные для терригенных пород орогенных впадин, и очень высокое торий-урановое отношение (от 20 до 200) [19].

Проявление третьей эпигенетической стадии фиксируется наиболее молодыми радиологическими датировками возраста урановой минерализации: 900, 800, 300 млн лет. По-видимому, данная стадия экзогенного эпигенетического рудообразования по физико-химическим особенностям мобилизации и переноса урана близка к условиям формирования гидрогенных урановых месторождений в зонах пластового окисления в осадочных артезианских бассейнах суборогенных впадин в Южном Казахстане и Средней Азии. Однако можно предполагать и заметную специфику этих процессов, которая связана с принципиальным отличием природы восстановительных барьеров, определяющих формирование урановых концентраций. В зонах пластового окисления отложение урана происходит на подвижном восстановительном барьере, положение которого смещается по падению пласта по мере миграции поверхностных вод.

В рассматриваемых месторождениях «типа несогласия» функции такого восстановительного барьера могут выполнять ранее образованные урановые и сульфидные минералы, а также флюиды с восстановительными свойствами, генерируемые в пределах локальной тепловой аномалии, фор-

мирующей в пластах графитсодержащих метапелитов и в расположенных непосредственно над ними осадочных породах рифея за счет разложения сульфидов и графита при проявлении тектонофлюидных процессов. В качестве признака таких процессов можно отметить проявление здесь зон гематитизации, которые можно рассматривать как комплементарные по отношению к урановому оруденению и связанные с особенностями распределения в пространстве окислительно-восстановительных процессов.

Эффективность рассматриваемого восстановительного барьера будет определяться интенсивностью тепломассопереноса по тектоническим зонам, связанным с графитсодержащими метапелитами. В период существования фонового теплового потока она будет минимальной, а в периоды активизации эндогенных процессов максимальной. Судя по рассмотренным выше датировкам урановых минералов, такие процессы наиболее интенсивно проявились в периоды, соответствующие возрастам 1100, 900, 800 и 300 млн лет.

Динамика поверхностных вод, с которыми связано гидрогенное рудообразование, также имела волновой характер, определяемый изменением во времени контрастности гипсометрических характеристик рельефа, имеющих также тектоническую природу. Совмещение в пространстве и времени периодов максимального проявления этих процессов, которые можно характеризовать как волновые, позволяет сопряженное их проявление в виде участков с высокой концентрацией урана представить как результат их интерференции. В генетическом отношении такое оруденение можно рассматривать как эндогенно-экзогенное.

**Прогнозно-металлогенический анализ территории России на уран.** В разных геотектонических обстановках в зависимости от особенностей геодинамического режима отдельные стадии уранового рудообразования могут проявляться с разной интенсивностью или не проявляться вовсе. Так, в Атабаске, вероятнее всего, проявились все три эпигенетические стадии, что привело к образованию наиболее богатых

руд и масштабного по запасам оруденения. Этому способствовали и неоднократно проявленные процессы эндогенной активизации этого региона, нашедшие отражение в отмеченных выше геохронологических датировках уранового оруденения, и значительная глубина осадочного прогиба Атабаска, определившая, наряду с многократными тектоническими импульсами, активную гидродинамику подземных вод.

В расположенных за пределами контура протоорогенных впадин австралийских месторождениях третья стадия, по-видимому, выражена слабо. На месторождении Карху в Приладожье наиболее отчетливо фиксируется лишь вторая гидротермальная стадия образования богатого оруденения. Слабое проявление химического преобразования графитоносных сланцев в дорифейских корах выветривания, малая мощность (20-40 м) терригенных отложений рифея (приозерская свита) и отсутствие явных признаков выноса урана из песчаников привели к относительно слабому проявлению в Приладожье первой и третьей экзогенных стадий концентрирования урана и, как результат, к меньшим масштабам накопления и уровням концентрации урана.

Возникшее на ранних стадиях эпигенетическое оруденение может существенно видоизменяться при наложении более поздних эндогенных процессов. На основе детального минералого-геохимического изучения месторождений Украинского, Алданского и обобщения опубликованных материалов по Канадскому и Австралийскому щитам И.Г.Минеева приходит к выводу о возможном значительном преобразовании древних месторождений. Она отмечает, что на докембрийских щитах необходимо учитывать региональное влияние трансформирующих процессов, которые приводят к полному изменению генетического облика рудных месторождений, особенно Au-U- и U-месторождений «типа несогласия» [14]. В связи с этим к выделенным стадиям формирования урановых месторождений «типа несогласия» необходимо добавить стадию их пострудного преобразования, которая может в существенной мере определять со-



хранившиеся к настоящему времени их основные особенности. Например, мощное проявление на Балтийском щите позднего кислого магматизма, представленного гранитами рапакиви, могло привести к существенному преобразованию и даже частично-уничтожению сформированных ранее первично-ураноносных углеродистых формаций. Поэтому прогнозные модели уранового оруденения должны учитывать всю совокупность факторов, определяющих полихронный и полигенный характер формирования месторождений данного типа. Это позволит с большей степенью достоверности осуществлять прогнозирование при региональных прогнозно-металлогенических исследованиях на наиболее перспективных на уран геологических структурах.

Рассмотрение на огромной территории России всей совокупности таких структур в рамках публикуемой статьи вряд ли возможно. Поэтому ограничимся формулировкой отдельных принципиальных научных положений, которые могут быть использованы при проведении специализированных комплексных прогнозно-металлогенических исследований и выявлении конкретных потенциально рудоносных структур.

**Положение 1.** В большинстве регионов России по существу отсутствуют хорошо подготовленные геологические структуры для постановки глубинных поисков слепых и слабопроявленных урановых месторождений. Поэтому планируемыми дорогостоящим поисковым работам во многих изучаемых районах должно предшествовать глубинное специализированное геологическое картирование и составление прогнозно-металлогенических карт масштаба 1:50 000 или 1:200 000 с применением поисково-картировочного бурения и выполнением комплекса минералого-геохимических и изотопно-геохимических исследований, а также составлением на их основе специальных карт, фиксирующих проявление рудомобилизирующих и (или) рудоконцентрирующих процессов.

**Положение 2.** Основная часть урановорудных провинций в Евразии и на других континентах приурочена к блокам земной

коры с повышенным по отношению к кларковому содержанием урана и тория и резко дифференцированным (неоднородным) распределением урана и его подвижных форм в зонах высоких геохимических градиентов. На территории России наиболее радиоактивные блоки литосферы на основе радиогеохимического картирования и составленных карт [24, 27] установлены в южном складчатом обрамлении Сибирской платформы (на Алданском щите, Становой области, Витимском плато и других местах), а также в складчатых структурах Забайкалья (рис.8). Именно к этому геоблоку земной коры приурочены углеродсодержащие кристаллические сланцы и другие высокорadioактивные породы, а также большая часть промышленных урановых месторождений, в том числе Стрельцовский и Эльконский рудные районы.

На значительной части данной территории глубинные поиски с использованием бурения проводились в ограниченном объеме. При выделении локальных площадей в пределах этих территорий следует иметь в виду, что в результате проявления экзогенных рудообразующих процессов на фоне общей повышенной радиоактивности наиболее перспективные участки могут быть проявлены пониженным содержанием урана (зоны выноса, мобилизации) за счет активизации в зоне гипергенеза экзогенных эпигенетических процессов.

**Положение 3.** Гидрогенные, гидротермальные и полигенные месторождения, формирующиеся в разных геотектонических обстановках, обязаны своим образованием процессам тектонической активизации, которые проявлены в разные геологические эпохи (наиболее интенсивно в рифее, позднем палеозое, мезозое и кайнозое). Именно с этими эпохами тектонической, гидротермальной и гидродинамической активизации связаны основные металлогенические эпохи образования промышленных урановых месторождений: рифейская (в Канаде и Австралии), позднепалеозойская (в Северном и Центральном Казахстане), мезозойская (в России и Германии), кайнозойская (в Южном Казахстане, Средней Азии и других регионах).

На основе изучения ураноносности интенсивно активизированных древних структур на Канадском, Австралийском и Алданском щитах складывается впечатление, что формирование масштабного уранового оруденения может происходить в разные эпохи тектономагматической активизации (PR<sub>2</sub>, Pz<sub>3</sub>, Mz, Kz), но сохраняются полностью только те месторождения, которые сформировались в заключительную стадию активизации. В частности, Сибирская платформа, ее фундамент, а также складчатое протерозойское обрамление и прилегающие фанерозойские геологические структуры Забайкалья подверглись в течение позднего палеозоя, мезозоя и кайнозоя мощным процессам тектономагматической активизации, сопровождавшейся интенсивными гидротермально-метасоматическими и гипергенными преобразованиями широко развитых в регионе геохимически специализированных комплексов пород, мобилизацией и выносом из них урана [14] и образованием эпигенетических гидротермальных и гидрогенных месторождений.

Наиболее интенсивно совмещение процессов тектономагматической активизации проявилось в структурах фундамента и складчатого обрамления в пределах южного склона Сибирской платформы, а также в прилегающих районах Забайкалья и других территорий.

В этих структурах в связи с процессами тектономагматической активизации в мезозое были сформированы многочисленные урановые гидротермальные месторождения с возрастом руд по радиологическим датировкам в интервале 120-140 млн лет.

В пределах зоны влияния кайнозойского Байкальского рифта (в частности, на Витимском плато) выявленные здесь гидрогенные месторождения урана песчаникового типа Хиагдинского рудного района формировались в неоген-четвертичное время.

В связи с отмеченными особенностями историко-эволюционного и геодинамического развития в фундаменте Сибирской платформы и ее складчатом обрамлении поиски древних урановых месторождений, в том числе аналогов месторождений «типа

несогласия», могут оказаться мало эффективными. Основное внимание в этих весьма перспективных по комплексу геологических и радиогеохимических признаков регионах должно быть обращено на поиски гидротермальных и гидрогенных месторождений, формирующихся в заключительные циклы тектономагматической активизации (в мезозое или кайнозое).

Выявление более древних месторождений в этом огромном регионе возможно лишь в тех структурах, где процессы мезозойско-кайнозойской активизации не проявились или выражены очень слабо. Весьма возможно, что такие структуры имеются в краевых частях Анабарского массива, а также на отдельных участках в складчатом обрамлении Сибирской платформы.

**Положение 4.** Исходя из ведущей роли тектономагматической активизации в интенсификации эпигенетических процессов миграции и концентрации урана, наибольший интерес для прогнозирования и поисков урановых месторождений всех генетических типов представляют пограничные структуры склонов щитов, как в пределах складчатых претерпевших региональный метаморфизм блоков докембрийского фундамента, так и в плитном комплексе платформ. Именно в пограничных структурах наиболее интенсивно проявились процессы тектономагматической активизации: в рифее в юго-восточной и северо-западной частях Балтийского щита, в рифее, позднем палеозое, мезозое и кайнозое в южном обрамлении Сибирской платформы, интенсивно проработанном в фанерозойское время. В пределах склонов щитов широко развиты углеродистые формации как в фундаменте (раннепротерозойские графитоносные сланцы), так и в плитных комплексах чехла (раннепалеозойские битуминозные песчаники, углеродистые глинистые сланцы и другие породы). Прогнозирование в пределах этих структур, часть из которых показана на рис.8, локальных площадей под поиски возможно лишь после их дополнительного структурно-металлогенического и минералого-геохимического изучения, а в ряде случаев и специализированного геологического картирования.

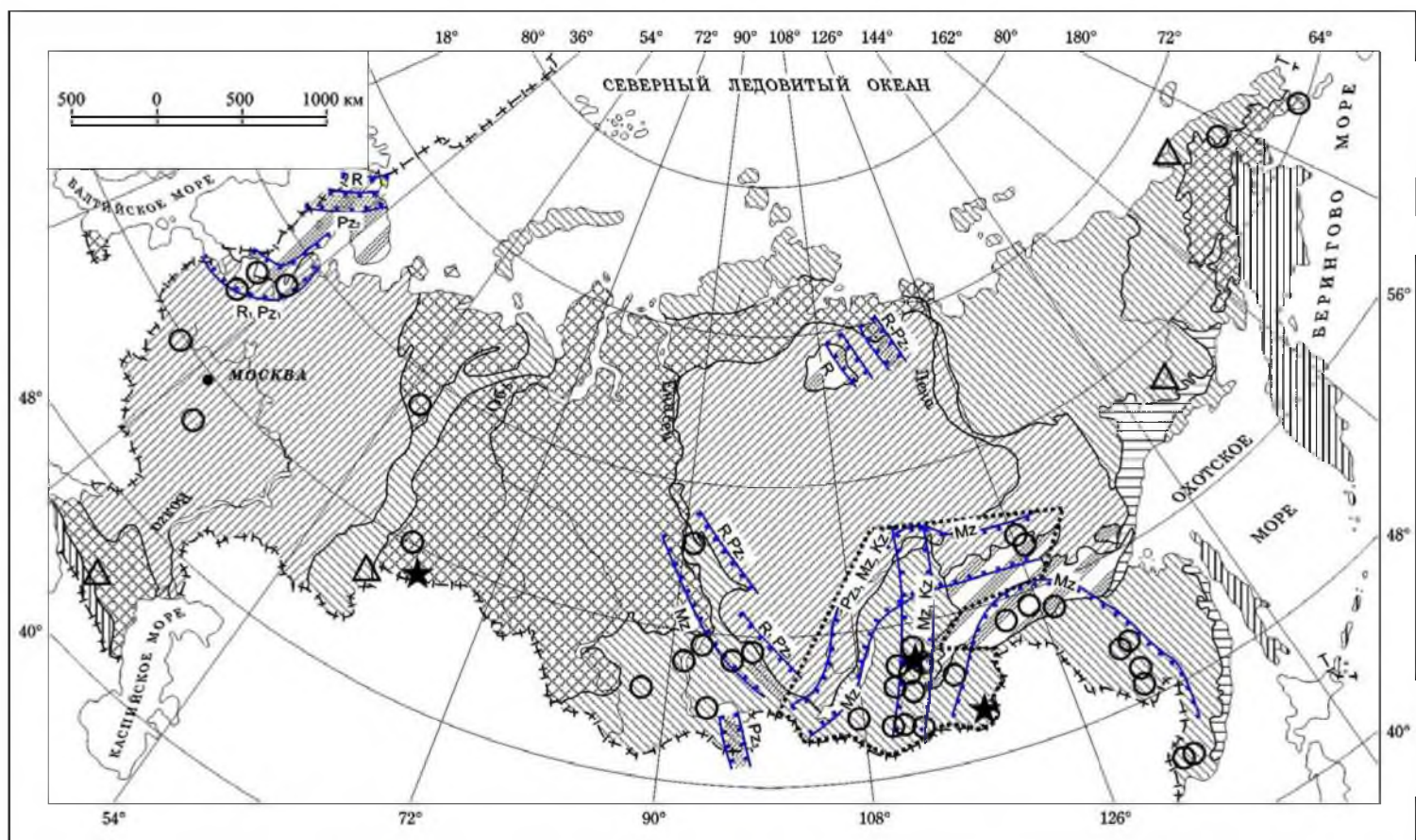


Рис.8. Схема размещения основных ураново-рудных и потенциально ураноносных провинций с месторождениями сложного генезиса  
 1 – месторождения урана: разрабатываемые (а), разведанные (б) и отработанные (в); 2 – геоблоки земной коры, наиболее обогащенные ураном;  
 3 – перспективные ураноносные провинции и зоны (а), перспективные зоны проявления U-Th-минерализации (б); 4 – щиты (докембрийские складчатые области); 5 – фанерозойские складчатые области и обрамление щитов; 6 – современные активные области; 7 – мезозойские вулканические пояса;  
 8-9 – чехлы платформ древних и молодых соответственно

Данные структуры представляют особый интерес для поисков богатых руд месторождений «типа несогласия», так как именно в таких геологических ситуациях расположены ураново-рудные объекты в провинции Атабаска. На рис.9 приведены две металлогенические схемы: одна по ураново-рудной провинции Атабаска, вторая по потенциально урановоносной Онежско-Ладожской провинции. Эти провинции находятся соответственно на склоне Канадского и Балтийского щитов, имеют сходное геологическое строение и историю геологического развития и расположены вблизи 60° северной широты симметрично относительно географической оси земного шара. Процессы тектономагматической активизации проявились в этих структурах в раннем и среднем рифее формированием протоорогенных впадин, интрузий гранитов рапакиви (только в Онежско-Ладожской провинции), даек и силлов основного состава и широким проявлением гидротермально-метасоматических процессов, с которыми связано образование месторождений урана, золота, ванадия, меди, полиметаллов и других полезных ископаемых.

На склоне Балтийского щита, в отличие от провинции Атабаска, выявлены лишь мелкие месторождения урана (запасы менее 5 тыс.т по категории С<sub>2</sub>): Карку (Приладожье) непосредственно в зоне рифейского структурно-стратиграфического несогласия, Средняя Падма, Весеннее и др. (Заонежье) в шунгитоносных сланцах, которые больше напоминают австралийские рудные объекты. Расположенные в Заонежье месторождения (например, Средняя Падма) являются комплексными уран-ванадиевыми с повышенным содержанием золота, платиноидов и других металлов. В последние 10 лет основные геолого-разведочные и научно-исследовательские работы были сконцентрированы на месторождении Карку, которое, по мнению большинства исследователей, считается по региональным геологическим факторам, минералого-геохимическим особенностям и условиям образования аналогом полигенных урановых месторождений в структуре Атабаска. Вместе с тем

конкретный ураново-рудный объект Карку отличают определенные и весьма существенные различия:

1. В отличие от месторождений канадского типа на участке Карку мощность терригенных рифейских отложений составляет всего 20-30 м, при этом содержание урана в кварц-полевошпатовых песчаниках в диапазоне  $(2,0 \div 2,5) \cdot 10^{-4} \%$  в 4-5 раз выше, чем в породах формации Атабаска, а торий-урановое отношение (3-4) близко к норме. Поэтому на данном участке протоорогенной впадины слабо проявлен третий экзогенный этап рудообразования, так как мобилизация урана из терригенных толщ могла быть минимальной.

2. На участке месторождения Карку слабо проявлена химическая кора выветривания по графитоносным сланцам, в связи с этим и первая эпигенетическая стадия гипергенного рудообразования выражена незначительно.

3. Наиболее перспективные зоны повышенной проницаемости (разломы) по контакту менее метаморфизованных раннепротерозойских толщ и глубокометаморфизованных комплексов архея, с которыми связаны крупнейшие месторождения урана в области рифейского несогласия в прогибе Атабаска, в Пашско-Ладожском прогибе под рифейскими толщами отсутствуют.

4. Внедрение крупной Салминской интрузии гранитов рапакиви, которая находится вблизи месторождения Карку, вероятнее всего, следует рассматривать как отрицательный фактор, обусловивший уничтожение благоприятных для рудоотложения углеродистых формаций на существенной площади раннепротерозойского фундамента.

Если собственно месторождение Карку расположено не в очень благоприятной для формирования масштабного уранового оруденения геологической и геохимической обстановке, то другие зоны в Онежско-Ладожской провинции представляют несомненный интерес для продолжения локальных прогнозно-металлогенических исследований на основе проведения специализированного картирования в пределах двух наиболее перспективных площадей: Западно-

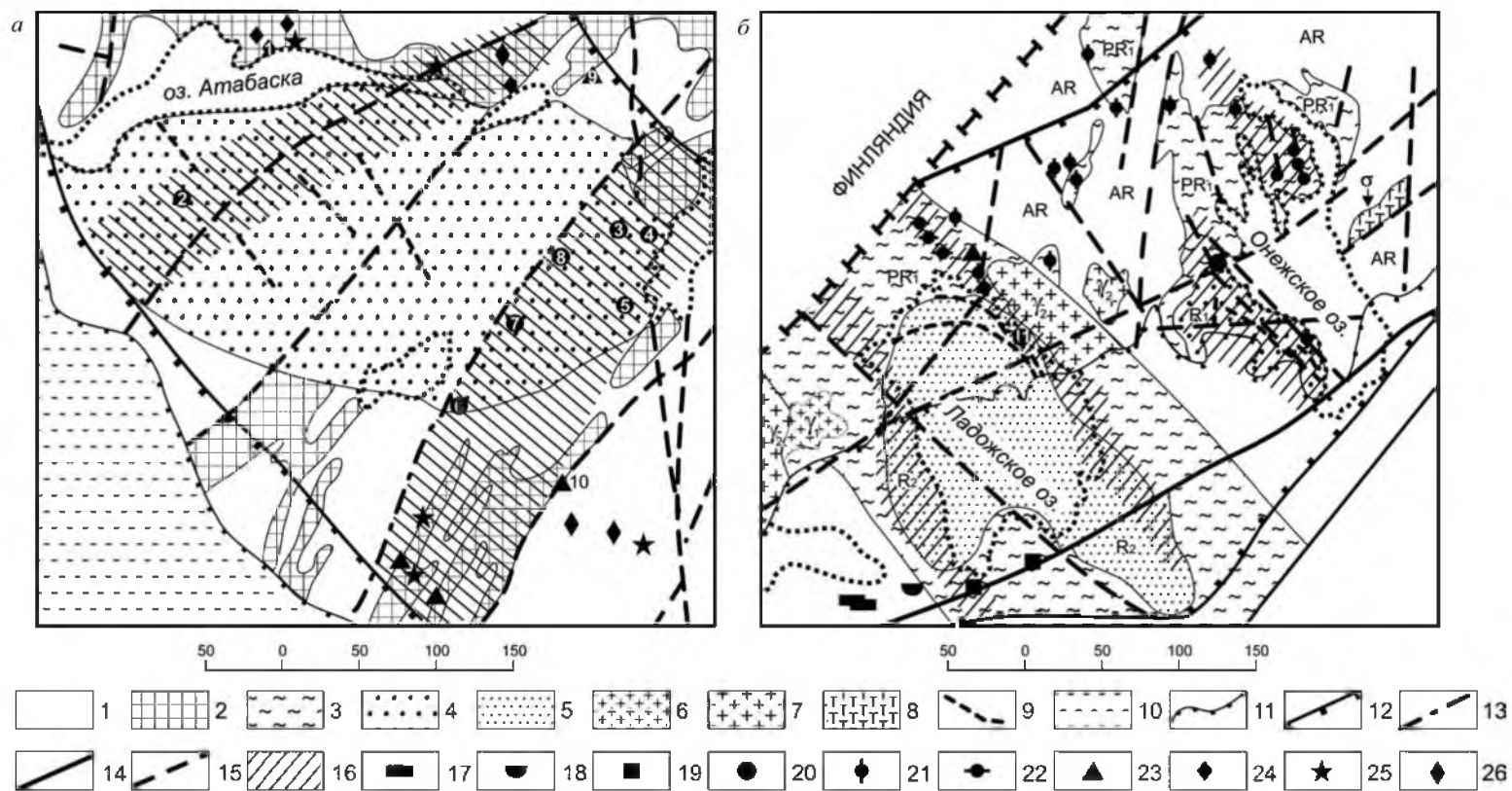


Рис.9. Металлогенические схемы ураново-рудных провинций Атабаска (а) и Онежско-Ладожской (б)

1 – высокометаморфизованные породы архея; 2 – складчатые пояса PR<sub>1</sub>; 3 – метаморфические комплексы PR<sub>1</sub>; 4 – красноцветные алевролиты, песчаники и конгломераты R<sub>1</sub>; 5 – терригенные и вулканогенно-осадочные отложения R<sub>2</sub>; 6 и 7 – сфенофенские и рифейские граниты соответственно; 8 – интрузии основного состава PR<sub>1</sub>; 9 – дайки основных пород; 10 – фанерозойский платформенный чехол; 11 – граница палеозойского платформенного чехла; 12 – границы ураново-рудных провинций; 13 – зона разломов в области сопряжения архейских гранулитовых комплексов с супракrustальными комплексами раннего протерозоя; 14 – трансрегиональные разломы; 15 – региональные и другие разломы; 16 – зоны максимальной концентрации урановых рудопроявлений; 17-24 – месторождения и рудопроявления урана: 17 – осадочные, 18 – гидрогенные, 19 – в корках выветривания, 20 – полигенные (2 – Клафф-Лейк, 3 – Мидуэст-Лейк, 4 – Раббит-Лейк, 5 – Уэст-Бэр, 6 – Ки-Лейк, 7 – Мак-Артур, 8 – Сигар-Лейк, 11 – Карку); 21 – в карбонатных метасоматитах; 22 – осадочно-метаморфогенные; 23 – пегматитовые (9 – Шарлебуа-Лейк, 10 – Барбидж-Лейк); 24 – жильные (1 – Биверлодж); 25 и 26 – золоторудные и медно-никелевые месторождения соответственно



Приладожской и Западно-Онежской. На этих площадях мощность рифейских отложений значительно больше (сотни метров), и, кроме того, здесь можно предполагать наличие зон мобилизации и выноса урана из красноцветных кварц-полевошпатовых песчаников. В частности, на Западно-Онежской площади в песчаниках Петрозаводского протоорогена отмечается понижение содержания урана до  $(1,0 \div 1,5) \cdot 10^{-4} \%$  и повышение торий-уранового отношения до 5-10.

При постановке прогнозно-поисковых работ следует иметь в виду, что урановорудные зоны и провинции связаны преимущественно с линейными геологическими структурами диагональной (северо-западной и северо-восточной) ориентировки (см. рис. 7). Диагональное размещение ураноносных структур обусловлено, вероятно, тем, что оно наследует простирающиеся раннепротерозойских прогибов фундамента и связанных с ними углеродсодержащих пород, играющих важное рудоконтролирующее значение на месторождениях «типа несогласия».

Диагональное размещение ураноносных структур наблюдается и на Алданском щите, где северо-западные разломы контролируют молодое (Mz) гидротермальное оруднение Эльконского горста [8], в палеозойских структурах Казахстана и суборогене Средней Азии, а также в Ронненбургском рудном поле и в других регионах.

**Положение 5.** Решающую роль в формировании полигенных месторождений типа несогласия и других сложных полихронных месторождений, выявленных в урановорудных районах на территории Казахстана, в Ронненбургском рудном поле, играли углеродистые глинистые и кремнистые сланцы не только как источник рудного вещества при мобилизации урана, но и как восстановитель при его осаждении. Поэтому в ходе локального прогнозирования наибольшее внимание должно быть уделено картированию и изучению углеродистых формаций складчатых областей.

**Положение 6.** В последнее время физиками получены положительные результаты в отношении перспектив использования тория в качестве ядерного горючего. Несмотря

на значительно более высокий кларк тория по сравнению с ураном, самостоятельных крупных месторождений тория в России и других странах мира не выявлено. Это, вероятно, объясняется его низкой миграционной способностью и вхождением в кристаллическую структуру акцессорных и рудных минералов. Вместе с тем в России известно большое количество проявлений тория вместе с редкими землями и другими малыми элементами в россыпях, в щелочных и кислых магматических породах, высокотемпературных гидротермальных жилах и других объектах.

Наибольший практический интерес в настоящий момент могут представлять комплексные редкометальные, редкоземельные и другие эксплуатируемые и резервные месторождения на Кольском полуострове, в Восточном Саяне, на севере Сибирской платформы и в других местах (см. рис. 8). Вместе с тем следует иметь в виду, что полномасштабное использование тория в атомной энергетике потребует скорейшего обобщения материалов по торийности первоочередных перспективных структур и постановки специальных прогнозно-металлогенических исследований для изучения геохимии и металлогении тория.

## Выводы и предложения

Успехи урановой геологической отрасли СССР, определившие создание в 80-е гг. XX в. крупнейшей в мире (почти 50 % от общих мировых запасов) минерально-сырьевой базы атомной промышленности страны, были обеспечены не только большими объемами финансирования и высоким кадровым потенциалом отрасли, но и четкой организацией и координацией всех стадий специализированных на уран геолого-разведочных работ. В ходе их выполнения большое внимание уделялось эффективности региональных прогнозно-металлогенических исследований, которые выполнялись совместно научными коллективами отраслевых институтов, вузов и производственных организаций. Именно эта первая стадия геоло-

го-разведочного процесса обеспечила выделение конкретных потенциально рудоносных структур и разработку эффективных критериев поисков, что особенно важно при выявлении слепых и слабо проявленных на современном эрозионном срезе ураноносных объектов.

Оценивая современное состояние минерально-сырьевой базы атомной промышленности России и геолого-разведочных работ на уран, следует признать его неблагоприятным:

- объем добычи урана на российских месторождениях и в настоящее время, и в ближайшее 5 лет не сможет «покрыть» даже внутренние потребности страны;

- за последние 15-20 лет не открыто ни одного крупного или уникального по масштабам рентабельного месторождения урана;

- предлагаемые в последние годы районы геолого-разведочных работ и ожидаемый в их пределах прирост прогнозных ресурсов  $P_1$  в количестве 5-10 тыс. т свидетельствуют о низкой потенциальной ураноносности выделенных перспективных площадей, на которых открытие крупных ураново-рудных объектов маловероятно [12, 30, 32, 33].

Неблагополучное положение с минерально-сырьевой базой урана и перспективами ее развития сложилось после распада СССР не только в результате резкого сокращения ассигнований на геолого-разведочные работы и уменьшения численности геологов-уранщиков. Оно связано также с отставанием в разработке и совершенствовании фундаментальных научных принципов регионального металлогенического анализа и методологии оценки потенциально рудоносных структур.

Особенно тревожным является снижение качественного уровня как обобщающих, так и конкретных комплексных региональных и детальных прогнозно-металлогенических работ на уран, направленных на изучение фундаментальных структурно-вещественных и историко-эволюционных особенностей геологических формаций и структур, создающих реальную основу для изучения ураноносности регионов и открытия новых провинций и месторождений.

Усилия сохранившихся геологических коллективов по переинтерпретации ранее накопленных геолого-геофизических и геохимических данных, повальное увлечение концептуальными проблемами глобальной тектоники и поисками мантийных источников урана, многократное переиздание мелкокомасштабных и других карт ураноносности на неизменной фактографической основе, неоправданный переход к оценке прогнозных ресурсов  $P_1$ ,  $P_2$ , и  $P_3$  в качестве основной меры оценки ураноносности регионов не компенсируют отсутствия пополнения фундаментальной геолого-геофизической и геохимической информации, необходимой для выявления новых крупных урановых месторождений. Следует особо отметить низкую достоверность оценки прогнозных ресурсов категории  $P_1$ ,  $P_2$ , и  $P_3$ , суммирование которых с разведанными запасами промышленных категорий существенно искажает реальную картину состояния минерально-сырьевой базы атомной промышленности России.

Из-за постепенного сокращения складских запасов природного и в разной степени обогащенного урана Россия может оказаться не экспортером, а импортером ядерного топлива, покупать которое придется по существенно более высоким ценам.

В создавшейся критической для минерально-сырьевой базы атомной промышленности ситуации главным направлением деятельности должно быть создание условий для скорейшего открытия крупных урановых месторождений с рентабельными рудами, для чего необходимо не только дальнейшее развитие методологии комплексных прогнозно-металлогенических исследований на новом техническом уровне с более широким применением минералого-геохимических и изотопно-геохимических методов, но и принятие ряда организационных и других мер. В связи с этим можно предположить осуществление следующих мер:

1. Усиление геологической направленности прогнозно-металлогенических и поисково-разведочных работ за счет расширения и углубления комплекса геологических, геофизических, минералого-геохимических

и других исследований для выявления структурно-вещественных особенностей перспективных на уран геологических формаций и структур, а также изучения эволюции рудообразующих систем.

2. Существенное увеличение финансирования региональных и детальных прогнозно-металлогенических исследований и глубинного геологического картирования с одновременным проведением поисково-оценочных работ на основе широкого использования методов поисков с бурением картировочных и поисковых скважин.

3. Укрепление и расширение кадрового обеспечения специализированных научных коллективов и производственных организаций в области урановой геологии для проведения конкретных прогнозно-металлогенических исследований и локального прогнозирования как главного фактора повышения эффективности поисковых работ.

4. Учет разведанных запасов промышленных категорий урана, включая  $C_2$ ; т.е. реального состояния минерально-сырьевой базы урана, позволяющий вовлекать в эксплуатацию ураново-рудные объекты по данным геолого-экономической оценки и при текущем уровне цен. Отдельной строкой следует выделить прогнозные ресурсы категории  $P_1$ , которые дают представление о металлогеническом потенциале территории России, оцененном на данный момент. Прогнозные ресурсы категорий  $P_2$  и  $P_3$ , являющиеся в большинстве случаев «спекулятивными», можно использовать лишь как вспомогательный материал при научно-исследовательских работах.

5. Внесение необходимых дополнений в действующую программу «Уран России» для улучшения координации работ коллективами Минприроды, Росатома, РАН, а также высшими учебными заведениями с целью подготовки высококвалифицированных специалистов для урановой отрасли.

6. Постановка научных исследований по изучению минерально-сырьевой базы в недрах России как возможного альтернативного источника атомной энергетики, что следует предусмотреть в планах работ Минприроды и Росатома на 2012-2020 гг.

В течение 2005-2007 гг. цена урана на мировом рынке выросла более чем в 4 раза. Если столь высокие цены сохранятся в долгосрочной перспективе, то рентабельным станет не только освоение месторождений Эльконского рудного района, где в последние годы выполнен большой объем очень важных минералого-геохимических и технологических исследований в пределах наиболее богатых рудных зон [30], но и многочисленных мелких месторождений в Забайкалье, Прибайкалье и в других районах России. Изменившиеся геолого-экономические условия и ценовые параметры уранового производства должны учитываться не только при оценке рентабельности выявленных месторождений, но и при прогнозировании новых рудных объектов. Однако до кардинального улучшения минерально-сырьевой базы атомной отрасли целесообразно временно приостановить экспорт природного урана.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть, что только открытие новых крупных ураново-рудных месторождений и провинций может обеспечить дальнейшее укрепление и развитие минерально-сырьевой базы атомной промышленности. Для этого необходимо углубленное изучение структурно-вещественных неоднородностей в пределах потенциально ураноносных блоков земной коры, а также анализ эволюции и длительности геологических и геохимических процессов миграции и концентрации урана в конкретных перспективных структурах с целью дальнейшего совершенствования фундаментальных принципов регионального и локального металлогенического анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамович И.И.* Глубинная геодинамика и металлогения урана. СПб, 2004. 88 с.
2. *Антропов П.Я.* Топливно-энергетический потенциал Земли: 2-е изд. М., 1976. 294 с.
3. *Афанасьев Г.В.* Типоморфизм и металлогения гигантских кольцевых структур в основании древних платформ и срединных массивов // Региональная геология и металлогения. 2004. № 22. С.74-88.
4. *Бежанова М.П.* Запасы и добыча важнейших видов минерального сырья мира / М.П.Бежанова, С.К.Бежанов. М., 2002. 120 с.



5. Билибин Ю.А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М., 1955. 88 с.

6. Билибина Т.В. Современные направления в металлогении (развитие идей Ю.А.Билибина) / Т.В.Билибина, В.Г.Грушевой, Е.В.Плющев, А.А.Смыслов, В.М.Терентьев, М.Г.Харламов // Сов. геология. 1983. № 10. С.77-90.

7. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб, 2002. 424 с.

8. Карта урановых месторождений России. Масштаб 1 : 10 000 000. Объяснительная записка / Н.П.Лаверов, А.А.Смыслов, В.М.Терентьев, М.Г.Харламов // М.-СПб, 1996.

9. Кушнеренко В.К. Перспективы ураноносности Северо-Западного региона // Докл. науч.-практ. семинара / ВИМС. СПб, 2004. С.32-41.

10. Лобаев В.М. Ураново-рудные месторождения типа несогласия глазами ученых ВСЕГЕИ. История изучения месторождений, изменение взглядов на генезис, прогнозные и поисковые исследования // Материалы по геологии месторождений урана: Инф. сборник ВСЕГЕИ. 2006. Вып.150. С.95-107.

11. Машиковцев Г.А. К методологии прогнозирования высокорентабельных урановых месторождений / Г.А.Машиковцев, Е.М.Кисляков, А.К.Мигута, И.С.Модников, В.Н.Щеточкин // Отечественная геология. 1995. № 9. С.21-27.

12. Машиковцев Г.А. Основные направления развития геолого-разведочных работ на уран / Г.А.Машиковцев, С.С.Наумов // Доклады научно-практического семинара ВИМС. СПб, 2004. С.9-11.

13. Месторождения урана Казахстана: Справочник. Алматы, 1996. 220 с.

14. Минеева И.Г. Взаимосвязь урана и золота в эндогенных и экзогенных процессах рудогенеза на докембрийских щитах: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / ВИМС. М., 1997. 50 с.

15. Наумов Г.Б. Основы физико-химической модели уранового рудообразования. М., 1978. 216 с.

16. Наумов С.С. Годы и открытия: очерк истории урановой геологии России / С.С.Наумов, М.В.Шумилин // Отечественная геология. 1995. № 9. С.5-10.

17. Недрa России / Под ред. Н.В.Межеловского, А.А.Смылова; Т.1. Полезные ископаемые. СПб-М., 2001. 547 с. Т.2. Экология геологической среды. СПб-М., 2003. 662 с.

18. Основы прогноза ураново-рудных провинций и районов / Под ред. Н.П.Лаверова. М., 1986. 206 с.

19. Пакульнис Г.В. Месторождения урана «типа несогласия» района Атабаска (Канада) / Г.В.Пакульнис, М.В.Шумилин // Минеральное сырье. 2005. № 17. 102 с.

20. Перельман А.И. Геохимия. М., 1989. 528 с.

21. Петрофизика. Кн.1. Горные породы и полезные ископаемые: Справочник / Под ред. Н.Б.Дортман. М., 1992. 391 с.

22. Плющев Е.В. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований / Е.В.Плющев, О.П.Ушаков, В.В.Шатов. Л., 1981. 262 с.

23. Пятов Е.А. Стране был нужен уран. М., 2005. 246 с.

24. Радиогеохимические исследования: Метод. рекомендации / Под ред. А.А.Смылова; Мингео СССР. М., 1974. 141 с.

25. Радиогидрогеологические исследования при прогнозировании и поисках урановых месторождений,

связанных с зонами пластового окисления / Под ред. Г.М.Шора. Л., 1988. 168 с.

26. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре. Л., 1974. 232 с.

27. Смыслов А.А. Геохимический способ оценки прогнозных запасов руд / А.А.Смыслов, Е.В.Плющев, Э.М.Пинский // Количественное прогнозирование при региональных металлогенических исследованиях: Метод. указания / ВСЕГЕИ. Л., 1979. С.23-25.

28. Тарханов А.В. Минерально-сырьевая база и урановая промышленность мира // Минеральное сырье. Серия геол.-экон. 2000. № 7. 37 с.

29. Тишкин А.И. Урановые месторождения древних щитов / А.И.Тишкин, А.В.Тарханов, В.А.Стрельцов. М., 1990. 144 с.

30. Шаталов В.В. Новая концепция освоения резервных месторождений Эльконского ураново-рудного района в республике Саха (Якутия) / В.В.Шаталов, А.В.Тарханов, А.Л.Никольский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 5. С.43-48.

31. Шатков Г.А. О распределении урана, тория, фтора, молибдена и ниобия в минералах и кислых вулканических стеклах / Г.А.Шатков, Л.Н.Шаткова, Е.Н.Гупцин // Зап. Всесоюз. минералог. общества. 1970. Ч.99. Вып.2. С.165-178.

32. Шумилин М.В. Ретроспективный анализ результативности геолого-разведочных работ на уран // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 2. С.39-41.

33. Шумилин М.В. Проблемы развития добычи урана в России и обеспечения баланса реального предложения и спроса // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 5. С.36-41.

## REFERENCES

1. Abramovich I.I. Depth geodynamic and metallogeny of uranium. Saint Petersburg, 2004. 88 p.

2. Antropov P.Ya. Fuel-energy potential of the Earth. Moscow, 1976. 294 p.

3. Afanasyev G.V. Typomorphism and metallogeny of giant ring structure in the basement of ancient platforms and median massifs // Regional geology and metallogeny. 2004. N 22. P.74-88.

4. Bezhanova M.P., Bezhanov S.K. Reserves and production of the principal types of minerals in the World. Moscow, 2002. 120 p.

5. Bilibin Yu.A. Metallogenic provinces and metallogenic epochs. Moscow, 1955. 88 p.

6. Bilibina T.V., Grushevoy V.G., Plyushchev E.V., Smyslov A.A., Terentyev V.M., Kharlamov M.G. Actual directions in metallogeny (development of Yu.A.Bilibin's ideas) / Sov. geology. 1983. N 10. P.77-90.

7. Kaputin Yu.E. Mining soft-ware technologies and geostatistics. Saint Petersburg, 2002. 424 p.

8. Map of uranium deposits of Russia. Scale 1:10 000 000. Explanatory note / Auth.: N.P.Laverov, A.A.Smyslov, V.M.Terentyev, M.G.Kharlamov // Moscow – Saint Petersburg, 1996.

9. Kushnerenko V.K. Prospective uranium-bearing potential of the North-West region // Reports of the scientific-practical workshop of VIMS. Saint Petersburg, 2004. P.32-41.

10. Lobaev V.M. Uranium-ore deposits of the unconformity zone type from the point of view of VSEGEI scien-

- tists. History of the deposits investigation, change of viewpoint on genesis, forecasting and prospecting researchs / Materials on geology of uranium deposits: Inform. misc. 2006. Issue 150. P.95-107.
11. *Mashkovtsev G.A., Kislyakov E.M., Miguta A.K., Modnikov I.S., Shchetochkin V.N.* On methodology of forecasting the highly profitable uranium deposits // National geology. 1995. N 9. P.21-27.
  12. *Mashkovtsev G.A., Naumov S.S.* Principal targets for development of geological exploration works for uranium // Reports of the scientific-practical workshop of VIMS. Saint Petersburg, 2004. P.9-11.
  13. Uranium deposits of Kazakhstan: Reference book. Almaty, 1996. 220 p.
  14. *Mineeva I.G.* Interrelation of uranium and gold in endogene and exogene processes of ore-forming in Precambrian shields / Auto-abstr. of Doct. thes. Moscow, 1997. 50 p.
  15. *Naumov G.B.* Fundamentals of the physical-chemical model of uranium ore-forming. Moscow, 1978. 216 p.
  16. *Naumov S.S., Shumilin M.V.* Years and discoveries: essay on history of uranium geology in Russia // National geology. 1995. N 9. P.5-10.
  17. Subsurface of Russia. / Edit.: N.V.Mezhelovsky, A.A.Smyslov; Vol.1. Mineral resources. Saint Petersburg – Moscow, 2001. 547 p. Vol.2. Ecology of geological environment. Saint Petersburg – Moscow, 2003. 662 p.
  18. Essentials of forecasting uranium-bearing provinces and ore-districts / Edit. N.P.Laverov. Moscow, 1986. 206 p.
  19. *Pakulnis G.V., Shumilin M.V.* Uranium deposits of unconformity type in Athabasca region (Canada) / Mineral resources. 2005. N 17. 102 p.
  20. *Perelman A.I.* Geochemistry. Moscow, 1989. 528 p.
  21. Petrophysics: Reference book. Vol.1. Rocks and useful minerals / Edit. N.B.Dortman. Moscow, 1992. 391 p.
  22. *Plyushchev E.V., Ushakov O.P., Shatov V.V.* Techniques to investigate the hydrothermal-metasomatic formations. Leningrad, 1981. 262 p.
  23. *Pyatov E.A.* The country did need uranium. Moscow, 2005. 246 p.
  24. Radiogeochemical researches. (Methodical recommendations) / Edit. A.A.Smyslov; MinGeo USSR. Moscow, 1974. 141 p.
  25. Radiohydrogeological researchs while forecasting and prospecting for uranium deposits connected with the bed oxidation zones / Edit. G.M.Shor. Leningrad, 1998. 168 p.
  26. *Smyslov A.A.* Uranium and thorium in the Earth's crust. Leningrad, 1974. 232 p.
  27. *Smyslov A.A., Plyushchev E.V., Pinsky E.M.* Geochemical method for appraisal the ore resources // Quantitative forecasting while regional metallogenic analysis: Methodical recommendations. Leningrad, 1979. P.23-25.
  28. *Tarkhanov A.V.* Mineral resources base and production of uranium in the World / Useful minerals. Series geol.-econ. 2000. N 7. 37 p.
  29. *Tishkin A.I., Tarkhanov A.V., Streltsov V.A.* Uranium deposits of ancient shields. Moscow, 1990. 144 p.
  30. *Shatalov V.V., Tarkhanov A.V., Nikolsky A.L.* The new concept to develop the reserved deposits of Elkonky uranium-bearing district in Sakha republic (Yakutia) / Mineral resources of Russia. Economics and development. 2006. N 5. P.43-48.
  31. *Shatkov G.A., Shatkova L.N., Gushchin E.N.* About distribution of uranium, thorium, fluorine, molybdenum and niobium in minerals and acid volcanic glaces // Proceedings of the Russian Mineralogical Society. 1970. Part 99. Iss.2. P.165-178.
  32. *Shumilin M.V.* Retrospective analysis of results of the prospecting-exploration works on uranium // Mineral resources of Russia. Economics and development. 2006. N 2. P.39-41.
  33. *Shumilin M.V.* Challenges in development of uranium production in Russia and assurance of balance of the real supply and demand // Mineral resources of Russia. Economics and development. 2006. N 5. P.36-41.