

УРАНОВЫЕ ПРОВИНЦИИ МИРА

Представлено новое обобщение, которое охватывает всё разнообразие известных урановых и комплексных месторождений и практически все значимые рудные территории в ранге провинций и районов (более 100). Систематизация урановых объектов и территорий, т. е. их типизация, и вещественно-генетическая группировка производятся с новыми акцентами: для месторождений главное значение придаётся рудовмещающей среде, геодинамическим и (или) гидродинамическим обстановкам формирования, а для территорий определяющей считается приуроченность к главным типоморфным структурам земной коры (аркогенным, тафрогенным, орогенным, эпейрогенным) и производным их различной и разновозрастной активизации. Для урановых территорий в рамках выделенных надгрупп даются характеристики на геосторической основе с использованием результатов оригинальных палеотектонических и палинспастических реконструкций. Системный анализ обширнейшего фактического материала позволяет проводить межрегиональные и межконтинентальные сопоставления, экстраполяции и аналогии, уточнять известные и выявлять новые закономерности и прогнозные критерии и делать выводы о полихронности формирования большинства урановых провинций, их политипности и, как следствие, этажности с вариациями ведущих рудных концентраций.

Ключевые слова: *металлогения, купольные структуры, урановые месторождения, провинции.*

The paper is a new generalization that covers all the variety of known uranium and complex deposits and almost all significant ore areas classified as provinces and districts (more than 100). Systematization of uranium targets and areas (their typification and petrologic and genetic grouping) is made with new accents: geodynamic and/or hydrodynamic settings of ore location reflected in alterations in host rocks are of major importance for ore deposits, and a controlling factor for ore areas is their relation to typomorphic crustal structures (arcogenic, taphrogenic, orogenic, epeirogenic) and derivatives of their different activation of various ages. Brief stylized characteristics for uranium areas within the established overgroups are given on geohistorical basis using results of original paleotectonic and palinspastic reconstructions. System analysis of extensive factual material allows interregional and intercontinental comparisons, extrapolations and analogies, more precise definition of known and identification of new patterns and predictive criteria and, ultimately, drawing conclusions about polychronous character of the formation of most of uranium provinces, their polytype character and, as a result, their stage-by-stage character with variations in major ore concentrations.

Keywords: *metallogeology, dome structures, uranium deposits, provinces.*

Отличительной особенностью методологии, разрабатываемой для целей прогнозирования наиболее продуктивных типов урановых и комплексных месторождений и рудоконтролирующих структур, является применение историко-геологического подхода [2]. Нами критически использован мировой опыт прогнозирования и поисков урановых концентраций. Дан анализ обширных и разнородных сведений по геологии, геохимии и металлогении урана различных стран и континентов, в том числе материалов, заимствованных из новых и новейших публикаций, а также не публиковавшихся [9, 12, 14–18];

Предлагаемая типизация урановых месторождений, являющаяся основой исследования, с одной стороны в значительной мере адаптирована к терминологии МАГАТЭ, а с другой — большое значение в ней придаётся типоморфным геодинамическим и/или гидродинамическим обстановкам (условиям) рудолокализации и рудосопровождающим изменениям пород. В отличие от большинства отечественных классификаций, в названиях типов месторождений отдается предпочтение в первую очередь не минеральному или элементному составу руд (флюорит-настурановые, Mo-U, Au-U, TR-U и пр.), а рудовмещающей среде (песчаниковый,

фосфоритовый, гранитовый, вулканитовый и другие типы). Для класса эндогенных месторождений такие названия сопровождаются указанием типа рудосопровождающих метасоматитов, объективно отражающих специфику процессов рудогенеза. Кроме двух генетических классов урановых месторождений (эндо- и экзо-), выделяется класс полигенных месторождений (типа несогласия, гематитовых брекчий, черносланцевый, метапесчаниковый).

Урановые провинции, как известно [4, 6–8], представляют собой обширные территории кучного размещения урановых и комплексных месторождений, которые приурочены к типоморфным тектоническим структурам континентальной земной коры (рис. 1). От сопредельных «безрудных» территорий они отличаются особенностями геологического развития, отчетливо проявленной геохимической урановой специализацией, полихронностью процессов концентрации урана и формирования месторождений, относящихся к различным геологическим классам. Рудные районы, входящие в состав провинций, преимущественно объединяют месторождения одного типа.

При детальном рассмотрении особенностей строения и развития консолидированных рудонос-

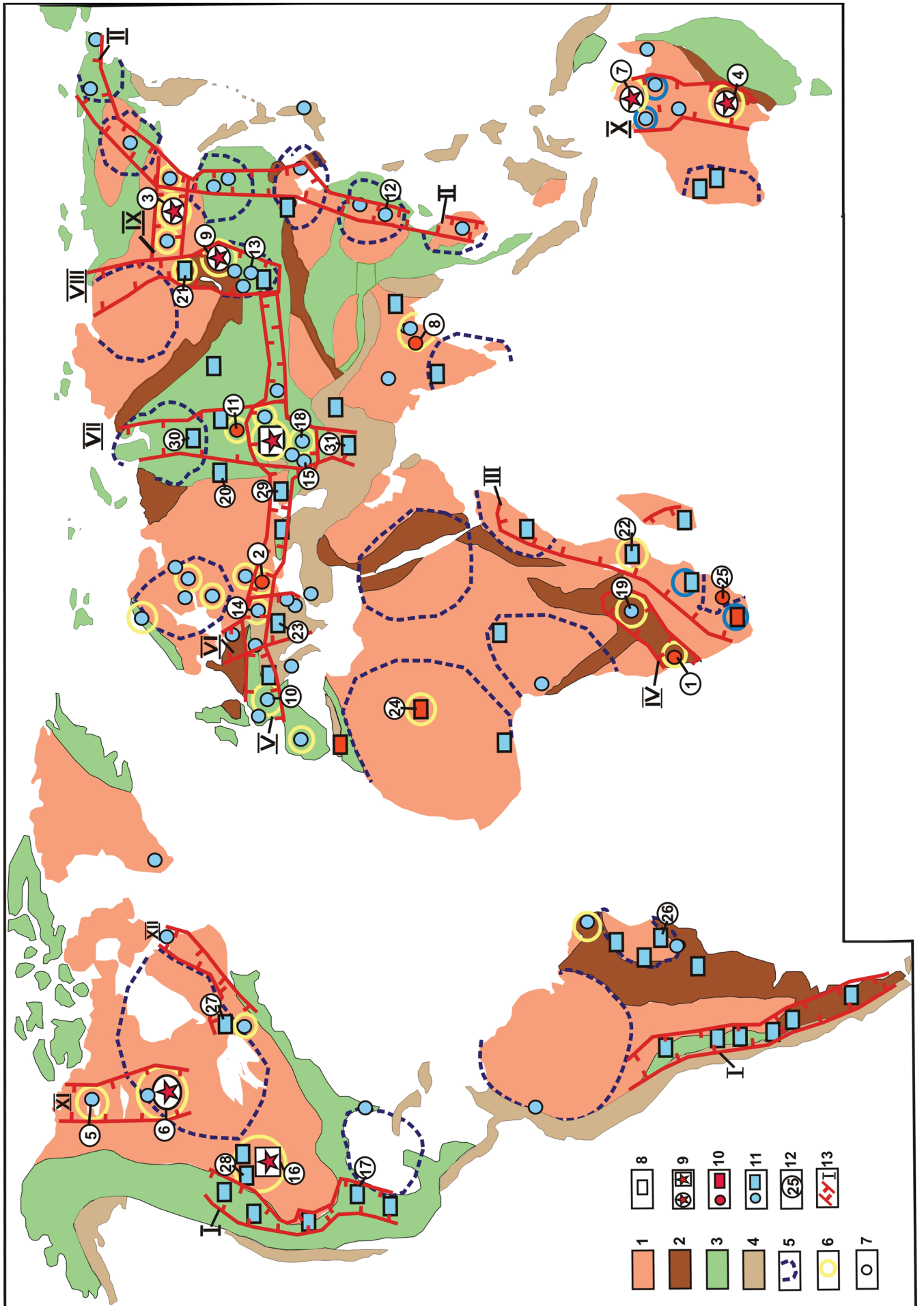


Рис. 1. Карта размещения урановорудных территорий в структурах континентов

1–6 – структуры континентальной земной коры (геотектоническая основа): 1 – древние платформы, включая щиты, 2 – рифейские складчатые пояса, 3 – фанерозойские складчатые пояса и молодые платформы, 4 – кайнозойские мобильные (орогенные) пояса, 5, 6 – реконструированные купольные структуры (5 – нуклеарные, 6 – предрифейские); 7, 8 – группировки урановорудных территорий (провинций, районов) – надгруппы по степени литификации вмещающих комплексов пород, генетическим классам и ведущим геолого-промышленным типам месторождений: 7 – первая надгруппа в литифицированных комплексах пород (эндогенные и полигенные месторождения), 8 – вторая надгруппа в слабо- и нелитифицированных комплексах пород (экзогенные месторождения); 9–11 – катетории по масштабам ресурсов урана (9 – более 300, 10 – 300–100, 11 – менее 100 тыс. т); 12 – список урановорудных провинций-прототипов (арабские номера в кружках). Первая надгруппа: 1 – Дамара (Россинг), 2 – Центрально-Украинская, 3 – Центрально-Алданская; 4, 5 – тип тематитовых брежий: 4 – Олимпик-Дам, 5 – Медвежье озеро (предположительно); 6–8 – тип несогласия: 6 – Атабаска, 7 – Арнемлэнд, 8 – Кудлапак; 9 – вулканитовый тип (Приартунская); 10, 11 – гранитовый тип: 10 – Центрально-Французская, 11 – Северо-Казахстанская; 12, 13 – лейкогранитовый тип: 12 – Южно-Китайская (Нантин); 13 – Хэнтей-Даурская; 14, 15 – черносланцевый тип: 14 – Чешская (Пюрингия), 15 – Центрально-Кызылкумская. Вторая надгруппа: 16–22 – песчаниковый тип: 16 – Колорадо-Вайоминг, 17 – Южно-Техасская, 18 – Притяньшаньская, 19 – Катанга, 20 – Зауральская, 21 – Витим-Амалатская, 22 – Ньяса; 23, 24 – метапесчаниковый тип: 23 – Банатитовая (Бихор), 24 – Мали-Нигерская (Ари-Акаута); 25–27 – конгломератовый тип: 25 – Витватерсранд, 26 – Жакобина, 27 – Блайнд-Ривер, 28, 29 – фосфоритовый тип: 28 – Фосфория, 29 – Прикаспийская; 30, 31 – предполагаемые песчаникового типа: 30 – Баженовская, 31 – Луг-Белуджистанская; 13 – элементы металлотенического районирования: I, II – глобальные и трансрегиональные металлотенические пояса: окраинноконтинентальные: I – Восточно-Тихоокеанский с Кордильерским и Андийским фрагментами, II – Западно-Тихоокеанский; III–XII – внутриконтинентальные: III – Восточно-Африканский, IV – Дамара-Катангский, V – Карпинского, VI – Балтийско-Карпатский, VII – Западносибирско-Среднеазиатский, VIII – Восточносибирско-Гобийский, IX – Чарско-Алданский, X – Центрально-Австралийский, XI – Бер-Волластон, XII – Гренвиллский

ных структур [3, 4, 7, 8, 10] оказалось, что ведущую роль в металлогении урана, начиная с раннего докембрия, играли геоструктуры аркогенного (купольного) и тафрогенного (рифтового) происхождения. Выделяются две разновозрастные глобальные генерации гигантских рудоносных купольных структур: раннедокембрийская генерация куполов-нуклеаров диаметром 1,5–3,5 тыс. км с возрастом 3,2–2,5 млрд лет и предрифейская генерация гранито-гнейсовых куполов (ГГК) диаметром 0,3–0,6 (до 1,0) тыс. км. Выделенные генерации купольных структур различаются особенностями внутреннего строения и металлогении, которые обусловлены главным образом строением подвергавшегося гранитизации субстрата, т. е. степенью зрелости земной коры. Первая генерация возникла в условиях первичной маломощной сиалической коры, преобладания базальтового слоя, тесной связи с мантией и господством концентрической зональности в плане. Купольные структуры второй генерации развивались уже на достаточно мощном сиалическом основании, характеризовались более отдалёнными связями с мантией и преобладанием радиальных элементов компенсационной делимости кровли.

Формирование генераций купольных структур разделено во времени и пространстве периодом рифтогенеза (2,4–1,9 млрд лет) и образования (заложения) палеопротерозойской глобальной системы линейных межкратонных-межнуклеарных тафрогенных структур – протоавлакогенов (ПА) протяженностью 1,5–2,0 тыс. км и более, превратившихся позднее в древнейшие складчатые пояса (Гренвилльский, Дамара-Катангский, Лиммен, Молданубский и др.). В зависимости от близости к праокеанам в протоавлакогенах выделяется тыловая, средняя и устьевая части, различающиеся рудоносностью и ассоциациями сопутствующих урану рудогенных элементов [3]. Результатом палеопротерозойского тафрогенеза явилось не только формирование геохимически специализированного на широкий спектр рудогенных элементов вулканогенно-осадочного «пёстрога» комплекса выполнения протоавлакогенов (т. н. пёстрые серии), но и образование в их рамках продольных цепочек купольных структур второй генерации. Палеореконструкции, кроме того, позволили установить единообразие компенсационной инфраструктуры каждой из двух генераций купольных структур, а также унаследованность главных типоморфных элементов и сохранение их рудоконтролирующей роли при различных эпигенетических трансформациях.

Реконструированный эволюционный ряд типоморфных рудоносных структур земной коры включает дорифейские аркогенные и тафрогенные протоструктуры с производными их разновозрастной активизации и рифей-фанерозойские наложенные (тафро-, суборо- и эпейрогенные) депрессионные структуры – осадочные бассейны (ОБ). Элементами высшего порядка в типизации урановорудных территорий являются две надгруппы, выделяемые по степени литификации рудоносных комплексов пород, главным геоструктурам и генетическим классам урановых месторождений: первая надгруппа рудных провинций с месторождениями в литифицированных комплексах пород основания древних и молодых платформ, срединных массивов складчатых областей, древних эпикратонных впадин и в ареалах континентального вулканизма и гранитоидного магматизма (эндогенный и полигенный классы месторождений, вторая надгруппа рудных провинций с месторождениями в слабо- или нелитифицированных комплексах пород в осадочных бассейнах чехлов древних и молодых платформ (экзогенный класс месторождений).

Группы рудных провинций приурочены к основным типоморфным геоструктурам земной коры и выделяются по геодинамическим и/или гидродинамическим обстановкам, времени рудообразования и представлены характерными геолого-генетическими (геолого-промышленными) типами и подтипами урановых месторождений.

Иерархия урановорудных территорий, основанная на предположенной типизации рудных провинций и особенностях эво-

люционного ряда типоморфных структур земной коры, включает мегапровинции – рудные пояса, рудные провинции и районы. Грандиозным по площади нуклеарам соответствуют рудные мегапровинции, включающие несколько рудных провинций и/или районов не только в типоморфных протоструктурах, но и в наложенных (вложенных) активизационных палео- и неоструктурах. Предрифейские купола представляют собой рудные провинции, в пределах которых рудные районы и зоны приурочены к определённым элементам компенсационной инфраструктуры и производным их активизации и перекрытия. Фанерозойские осадочные бассейны в чехлах древних и молодых платформ, в особенности перекрывающие предрифейские купола, выделяются в качестве рудных провинций (рис. 1).

Первая надгруппа рудных провинций в литифицированных комплексах пород.

Рудные провинции в типоморфных протоструктурах нуклеаров и структурах их разновозрастной активизации. Промышленные концентрации урана в нуклеарах появляются впервые лишь на конечном – орогенном этапе их формирования и являются кластогенными, образованными за счет накопления в россыпях первично эндогенных аксессуарных урансодержащих минералов из позднеархейских калиевых гранитов и пегматитов. Такие древнейшие метаморфизованные россыпи (Au, U, алмазы и пр.) в кварцевогалечных конгломератах и кварцитах характерны для протоорогенных впадин, которые пунктирно располагаются по периферии нуклеаров преимущественно антиформного – необращенного типа (мегапровинции СьюперIOR, Восточно-Бразильская, реконструированная Южной Африки и ЮЗ Австралии). Для синформных – обращенных нуклеаров протоорогенные структуры не характерны, а слабые подобию россыпей (Au ± U) встречаются в основании более поздних протоплатформенных мульд с железистыми кварцитами. С несколькими эпохами разновозрастной активизации нуклеаров связан целый ряд рудных провинций и районов с месторождениями разных типов: 1) карбонатитового типа (U-TR-Fe-P) в щелочных кольцевых интрузиях-трубках разного возраста от докембрия до мезозоя (районы Илимауссак, Палабора, Хибинь, Посус-ди-Калдас, Сайма); 2) черносланцевого типа в наложенных краевых прогибах раннего-среднего палеозоя (Карпато-Балканская, Южно-Китайская и др. мегапровинции); 3) метасечаникового-бихорского типа в ареалах метасоматической альбитизации моласоидов над пологой кровлей гранитных плутонов и под различными экранами (Внутренние Карпаты, Сахара); 4) лейкогранитового типа, связанного с глинисто-цеолитовыми метасоматитами в зонах разрывов среди мезозойских высокорadioактивных гранитов в ассоциации с жильно-штокверковым редкометалльным оруденением. С обширными ареалами развития ураноносных лейкогранитов, как правило, ассоциируют линейные пояса с цепочками ураноносных ВТС и молассовых впадин (Ганьханский, Керулен-Аргунский, Провиденский).

Рудные провинции в типоморфных протоструктурах гранито-гнейсовых куполов предрифейского заложения и структурах их разновозрастной активизации. Урановое рудообразование сопровождало все этапы и стадии формирования и трансформации

купольных структур второй генерации (кроме этапа воздымания) при унаследованности рудоконтролирующей роли элементов первичной инфраструктуры. Промышленные концентрации урана при этом являлись, главным образом, эндогенными, иногда полигенными при ассоциации его с широким спектром сопутствующих лито-, халько- и сидерофильных элементов. Типоморфные структуры куполов этой генерации были заложены на этапе их компенсационной деструкции – проседания и обрушения кровли. Сформировалась радиальная система секториальных блоков, включающая: а) сравнительно узкие рудоносные протограбены – ПГ (поля двукратной ультраметаморфической гранитизации кровли и наибольшей её сохранности) и б) разделяющие их более широкие, относительно приподнятые и эродированные промежуточные блоки, сложенные в основном породами кристаллического основания с реликтами кровли (рис. 2). В разрезе протограбенов реконструируется вертикальная ультраметаморфическая зональность со сменой фаций метаморфизма (снизу вверх) от гранулитовой через амфиболитовую до регрессивной – зеленосланцевой. Соответственно с уровнем эрозионного среза выделяются три типа протограбенов, т. е. полей двукратной гранитизации, именуемых по слагающим их комплексам пород: мигматит-гнейсовый, мигматит-гранитовый и мрамор-кристаллосланцевый.

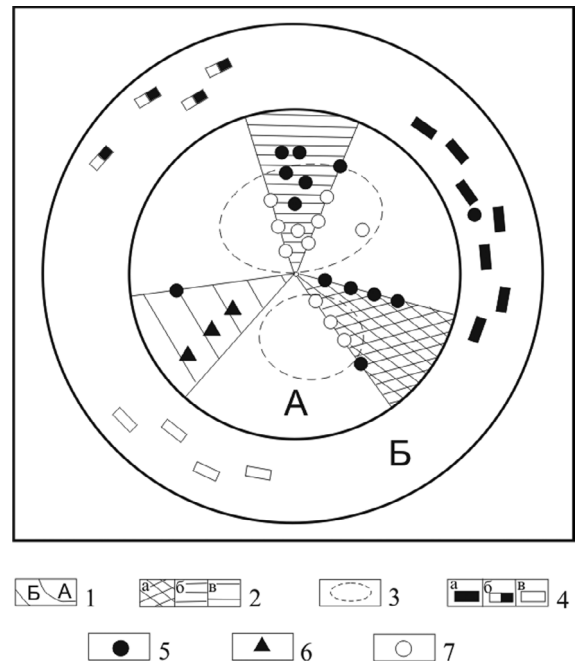


Рис. 2. Сводная модель инфраструктуры рудоносных предрифейских гранито-гнейсовых куполов диаметром от 200 до 1000 км [2]

1, 2 – главные элементы инфраструктуры: 1 – концентрические зоны: внутренняя (А) и внешняя (Б), 2 – типы полей гранитизации в протограбенах (а – мигматит-гранитовый, б – мигматит-гнейсовый, в – мрамор-кристаллосланцевый); 3 – контуры рифейских и вепсийских наложенных впадин (проекция); 4–7 – типы оруденения в структурах куполов: 4 – стратиформное осадочно-метаморфогенное (а – магнетитовое в железистых кварцитах, б – флогопит-магнетитовое в метадоломитах-скарноидах, в – колчеданно-полиметаллическое в черных сланцах, гнейсах, 5 – титан-урановое в приразломных щелочных метасоматитах (альбититах-эйситах, калишпатитах, гумбеитах), б – уран-ванадиевое в слюдистых метасоматитах, 7 – урановое типа несогласия (проекция)

С этими протоструктурами куполов (рудных провинций III группы) связаны рудные районы с хорошо известными типами докембрийских урановых и комплексных месторождений в приразломных щелочных метасоматитах (калиевых, натриевых, магниевых). Они приурочены преимущественно к породам амфиболитовой фации: аляскитовый – порфиновый (Россинг), альбититовый (кировоградский) и слюдитовый (падминский). Рудоконтролирующими являются крутопадающие краевые и внутренние зоны древних разломов, для которых характерны явления протоклаза и течения вещества, аляскитовые инъекции, будинаж, бластомилониты и бластокатаклазиты. Интересно, что реликты оруденения этих типов устанавливаются в рудных провинциях, главные промышленные концентрации урана которых возникали в более поздние эпохи, в частности в провинциях типа несогласия и провинциях, связанных с проявлениями разновозрастной активизации.

Рудные провинции в протоструктурах предрифейских гранито-гнейсовых куполов вблизи древних структурно-стратиграфических несогласий (СН). Как известно [4, 7, 8, 10, 12], гигантские месторождения типа несогласия контролируются поверхностями региональных СН в основании древних эпикратонных впадин, выполненных молассоидами с прослоями карбонатных и углеродистых пород. Впадины перекрывают неравномерно эродированные структуры гранито-гнейсовых куполов, а урановые месторождения размещаются протяженными цепочками вдоль краевых и внутренних разломов протограбенов [3] (рис. 2) с тяготением к графитоносным горизонтам пёстрых серий кровли купола. В рамках единого полигенного типа в соответствии с возрастом впадин обычно выделяются два подтипа: канадский – предрифейский и австралийский – предвепсийский. Палинспастические построения позволяют реконструировать первичное положение вепсийской рудной территории, которая до распада Гондваны представляла собой единую Индо-Австралийскую провинцию, объединявшую рудные районы Аллигейтор-Ривер или Арнемленд (Северная Австралия) и Куддапах-Сингбхум (Юго-Восточная Индия), ныне разделённые Индийским океаном. В результате намечается эволюционный ряд из трёх эталонных рудных районов (Волластон, Арнемленд, Куддапах), различающихся по нескольким признакам, которые, скорее всего, определяют степень концентрации урана, морфологию рудных залежей и их положение относительно поверхности СН. К этим признакам относятся: а) возраст и проявленность несогласия; б) продолжительность континентального перерыва, предшествовавшего заполнению впадин; в) время и интенсивность проявления коллизионного магматизма кислого и основного состава в купольных структурах основания впадин и отчасти наложенных структурах. Рассмотрение особенностей указанного ряда позволяет уточнить представления о закономерностях размещения и формирования месторождений типа несогласия и критериях их прогнозирования. С учетом таких критериев перспективным на тип несогласия представляется восточный фрагмент предудоканской поверхности СН в пределах известной ураноносной Читкандинской площади Чарского геоблока [14].

В рифее–фанерозое в ряде провинций (Франсвиль, Чешская, Катанга) происходила ло-

кальная эпигенетическая трансформация–регенерация рудных залежей несогласия с изменением их морфологии и перемещением урана в песчаники впадин вдоль крутопадающих разрывов на расстоянии от первых сотен метров до 1 км от поверхности СН. Наиболее значительные трансформации рудных залежей несогласия происходили в предгималайской зоне шарьяжей на севере Индостана (Сингбхум).

Рудные провинции в активизированных структурах куполов предрифейского заложения. Эта группа рудных провинций представлена месторождениями, связанными с эпохами регионального проявления разновозрастной и разнотипной тектоно-магматической активизации (ТМА). К производным ранне-среднерифейской ТМА относится формирование уникальных комплексных (Cu-Au-Ag-U-Fe) месторождений в Южной Австралии (Олимпик-Дам и др.) и предположительно в области Больших Озер СЗ Канады – Медвежьего и Невольничьего (Порт Радий, Эльдорадо). Месторождения локализируются в ареалах развития объёмных сульфид-гематитовых брекчий коллизионных гранитов и вмещающих их пород пёстрых серий в структурах куполов предрифейского заложения (купола Фром и Больших озер). Вне таких ареалов гранитизированные пёстрые серии вмещают крупные стратиформные сульфидно-полиметаллические (+Au, Ag, TR, ±U) месторождения (Брокен-Хилл, Радиум-Хилл, Маунт-Пейнтер и др.). На основе сравнительного анализа рудных районов Канады и Австралии предлагается вариант нетрадиционного моделирования геодинамических условий их формирования (типа Олимпик). Эта модель включает последовательность дорудных–рудных–пострудных процессов, в числе которых основными являются: 1) размещение территории в сфере влияния долгоживущего трансрегионального линеамента-сдвига (Томсон, Маккензи-Коппермайн), отчасти ответственного как за объёмное брекчирование пород и пород-руд кровли купола, так и неоднократное проявление базальтового и бимодального липарит-базальтового вулканизма с образованием эксплозивных кратеров и трубок-диатрем, вулканических кальдер проседания и обширных поздних трапповых полей; 2) полное или частичное обрушение рудоносной кальдеры (Гринфельд, Эхо-Бей), выполненной бимодальными вулканитами и синхронными осадками с включением их породных-геохимических и рудных компонентов в состав верхней части брекчиевого комплекса с соответствующим увеличением его рудного потенциала; 3) образование под трапповым экраном и платформенным осадочным чехлом секущих зон с богатым жильным настурановым оруденением за счёт эндогенной и, возможно, экзогенной регенерации комплексных брекчиевых руд с убогими содержаниями урана. На основании принципа абстрактных аналогий [2] предполагается, что эта модель может быть использована в Приаргунской и Витим-Амалатской провинциях Забайкалья при прогнозировании крупных рудных объектов в до-мезозойском гранитном основании Тулукуевской и Байсыханской кальдер [13]. Сохранность Тулукуевской кальдеры, скорее всего, препятствовала объединению её рудного потенциала с потенциалом брекчиевого комплекса основания и формированию аналога рудного гиганта типа Олимпик.

Пока единственной рудной провинцией позднерифейско-вендского возраста считается Катанга,

для которой эта эпоха ТМА является завершающей в ряду рудогенных геодинамических процессов. Рудно-гомологический ряд провинции Катанга начинается син-диагенетическими (по Ф. Менделю) накоплениями широкого спектра металлов (Cu, Co, Ni, Fe, U, Ag, Au, TR, Pt и пр.) в сероцветных и углеродистых терригенных осадках рудной серии, перекрытой красноцветами Кунделунгу в разрезе крупного рифейского надкупольного артезианского осадочного бассейна (ОБ). Бассейн по своим особенностям сходен со значительным более молодым надкупольным ОБ Плато Колорадо, в связи с чем последующие процессы пластовой инфильтрации подземных вод могли привести к формированию гидрогенных концентраций (U, Mo, Se, V, TR). Третьим важным элементом рудно-гомологического ряда провинции Катанга являются богатые концентрации, условно отнесенные к типу несогласия, многочисленные месторождения которого (Нкана, Нчанга, Роан Антелоп и др.) вскрываются по периферии эрозионно-тектонического окна-домена Кафуэ вблизи основания Рудной серии и предрифейского ССН. Более поздние процессы панафриканской ТМА, включающие гранитоидный магматизм и складчато-надвиговые дислокации, а местами также интенсивный диапиризм, привели к образованию двух главных типов рудоносных структур провинции: а) дуговых региональных Медных поясов Заира и Замбии с низкими содержаниями урана в стратиформных комплексных рудах и б) трёх локальных рудных узлов (I – Шинколобе, II – Кипуши, III – Кафуэ) с богатым штокверковым настурановым оруденением (\pm Ni, Co, Au, Pt).

Рудные провинции в ареалах фанерозойской активизации структур предрифейских куполов изучены главным образом в пределах фанерозойских подвижных поясов Евразии. Вслед за формированием обширных надкупольных осадочных бассейнов с рифейским и ранне-среднепалеозойским карбонатно-терригенным и фосфатно-черносланцевым выполнением в интервалах времени около 370–270–150–130 млн лет последовательно проявились каледонские (девон), варисские (пермь) и киммерийские (юра, мел) процессы рудогенной ТМА. В позднем палеозое на территории европейской части континента процессы ТМА и уранового рудообразования наиболее интенсивно проявились в пределах Молданубской цепочки выступов докембрийского основания – срединных массивов (Чешского, Центрально-Французского, Иберийского) главным образом в форме гранитоидного магматизма и урановых месторождений гранитового и черносланцевого типов. В пределах Центрально-Азиатского подвижного пояса процессы ТМА проявились преимущественно в формировании поясов и ареалов континентального наземного вулканизма, в том числе девонского Бетпакалинского пояса Казахстана, пермских поясов и ареалов Западного и Южного Тянь-Шаня (Чаткало-Кураминского, Ширкент-Варзобского), телескопированных пермских и мезозойских поясов Монголии и Забайкалья (Керулен-Аргунского, Орхон-Селенгинского) с месторождениями вулканического типа. В результате за счёт колоссальных ресурсов урана и сопутствующих рудогенных элементов из геохимических арсеналов пёстрых комплексов кровли куполов и палеозойских черносланцевых осадочных бассейнов сформировались урановые

месторождения трёх типов: жильно-штокверкового березитового, вкрапленно-штокверкового черносланцевого и пластово-штокверкового альбитит-аргиллизит-березитового. Наиболее масштабные и богатые урановые месторождения возникли в кровле гранитных плутонов на территориях сближенного телескопирования разновозрастных специализированных комплексов пород (например, в Саксонских Рудных горах) или при регенерации древних месторождений, например, типа несогласия (Пшибрам). В пределах вулканических поясов и ареалов наиболее рудоносными являются обширные кальдеры проседания стратовулканов (Сарытбинская, Карабашская, Тулукуевская). Во многих случаях рудоносные ВТС оказываются вскрытыми эрозией, а рудные залежи обнаруживают признаки проявления экзогенных неоген-четвертичных процессов разрушения с переотложением и выносом урана. Уран из вскрытых и эродированных ВТС, скорее всего, послужил главным ресурсом для формирования многочисленных крупных и крупнейших экзогенных инфильтрационно-гидрогенных месторождений в мезозойско-кайнозойских суборогенных впадинах, обрамляющих вулканические пояса и составляющих Чу-Сарысуйскую, Сырдарьинскую, Кызылкумскую, Илийскую, Гобийскую, Эрлен-Ордосскую и Витимскую обширные рудные провинции.

Рудные провинции в структурах позднемезозойской активизации предрифейских ГГК древних и молодых щитов (альбитит-гумбеитовый эльконский и альбитит-гидрослюдитовый стрелцовский типы) размещаются в восточной части Азии, в пределах Алданского щита и Керулен-Аргунского срединного массива. Активизация структур ГГК предрифейского заложения проявляется в форме тектоно-метасоматической переработки структур и субщелочного–щелочного магматизма калиевой специализации, которые на Алданском щите выражаются в интрузивной форме (алданский комплекс), а в Приаргунье и, возможно, в Монголии – в вулканической форме с образованием Тулукуевской, Дорнотской и других кальдер проседания.

В Центрально-Алданской и, вероятно, Чарской урановых субпровинциях, приуроченных к омоложенным ГГК предрифейского заложения, проявились все этапы формирования докембрийских урановых концентраций, связанных с приразломными щелочными метасоматитами. Это особенно хорошо выражено в трехлучевой системе протограбенов Центрально-Алданского купола и приуроченных к ним гигантским штокверкам крутопадающих бластомилонитовых швов, которые контролируют размещение мезозойского Au-U оруденения эльконского типа в гумбеитах. При этом оруденение аляскитового типа встречено на месторождении Хардагас в Хатыминском ПГ, а реликты ураноносных альбититов отмечаются в гумбеитовых бластомилонитах зоны Южная в пределах Эльконского обращенного ПГ (ныне горста). В наиболее глубокой части вертикальной метасоматической колонны Эльконского горста, находящейся вблизи поверхности несогласия между породами кровли купола (Фёдоровской серией) и его метаморфическим основанием (иенгрской серией), возможно существование скоплений микроалмазов кумдыкольского типа (аналогия с провинцией Северного Казахстана). Такие скопления в ассоциации

с порфировыми рудами урана предполагаются на флангах месторождения Хардагас.

В Приаргунской рудной провинции, как известно [12, 14], главной рудоносной структурой является Тулукевская кальдера проседания со Стрельцовским рудным полем, в пределах которого проявляются общие для азиатских поясов и ареалов наземного вулканизма закономерности размещения Мо-У оруденения вулканитового типа. Ряд особенностей строения и развития провинции позволяют предполагать в брекчированном и метасоматически проработанном полихронном купольно-гранитном основании кальдеры существование комплексного оруденения близкого к типу Олимпик, модель формирования которого была приведена ранее. В числе таких особенностей следует отметить двукратное проявление базальтового вулканизма и существование рудоносных структур типа коллапс-диатрем, к которым можно условно отнести крутопадающую структуру месторождения Антей с малым поперечным сечением и большой протяженностью на глубину (более 1000 м).

Вторая надгруппа рудных провинций в слабо- и (или) нелитифицированных комплексах пород в осадочных бассейнах чехлов древних и молодых платформ.

Эта надгруппа объединяет две группы экзогенных рудных провинций:

1) провинции с сингенетическими концентрациями урана сорбционного происхождения, локализованными в отложениях, которые обогащены природными осадителями урана: углефицированными растительными остатками и углями, костным детритом рыб, фосфатами, углеродистым веществом (битумами), дисульфидами железа (фосфоритовый, костно-детритовый, торфяной, «горючесланцевый» и другие типы);

2) провинции с эпигенетическими гидрогенными месторождениями песчаникового типа, представленными пластово-ролловыми и палеодолинными рудными залежами, которые сформировались соответственно в условиях напорно-пластовых (артезианских) или безнапорных (грунтовых) инфильтрационных гидродинамических систем на выклинивании зон пластового окисления. Песчаниковый тип включает две разновидности: колорадскую в красноцветах и вайоминг-сарысуйскую в сероцветах.

В числе закономерностей формирования провинций первой группы отмечается постоянная генетическая ассоциация фосфатного и углеродистого вещества в ураноносных фосфоритах и углеродистых сланцах, пластовые залежи которых образуют протяженные пояса на приокеанических склонах континентов — соответственно на их активных и пассивных окраинах, например, прикордильерский пояс пермских фосфоритов (провинция Фосфория) и зеркально-симметричный ему преаппалачский фамен-турнейский пояс черных сланцев (провинция Чаттануга) [8, 11, 16]. Для большей части эпигенетических гидрогенных рудных провинций второй группы, которые размещаются в предгорных и межгорных — суборогенных впадинах (осадочных бассейнах и палеодолинах) чехлов древних и молодых платформ, ранее был установлен целый ряд важнейших закономерностей размещения. Они явились успешной основой прогнозирования урановых месторождений и освещены в целом ряде зарубежных и отечественных

обобщений [5, 10, 12, 14–16]. Более углубленный анализ условий локализации уранового оруденения позволил дополнить эти закономерности для некоторых крупных рудных территорий, приуроченных к обширным суборогенным межгорным впадинам — осадочным бассейнам артезианского типа, которые полностью (Плато Колорадо) или частично (Притяньшань) перекрывают древние купольные структуры. Для мезозойско-кайнозойской мегапровинции североамериканских Скалистых гор, объединяющей провинции Плато Колорадо и Вайоминга, и неоген-четвертичной среднеазиатской Притяньшаньской мегапровинции, в состав которой включаются Чу-Сарысуйская, Сырдарьинская и Центрально-Кызылкумская провинции, сделаны новые эмпирические выводы. В частности, выдвинуто предположение о существовании не только линейно-дуговых, но и кольцевых региональных редокс-фронтов (РФ) — фронтов выклинивания зон пластового окисления (восстановительных геохимических барьеров) протяженностью в сотни и тысячи километров. В пределах Плато Колорадо их фрагменты выделяются в качестве минеральных поясов, а в Притяньшань металлогенических зон. Различно ориентированные линейно-дуговые РФ в артезианских бассейнах сливаются в сплошные (Притяньшань — Сузакская, Бешбулакская и другие мульды) или пунктирные (Плато Колорадо) контуры эллиптической или полигональной конфигурации в плане. Такая конфигурация, скорее всего, определяется рисунком краевых разломов в основании мульды и скрытых разломно-трещинных зон в отложениях бассейнов. Кольцевая конфигурация РФ обусловлена артезианским радиально-центростремительным движением кислородных подземных вод от малоамплитудных поднятий горного обрамления в направлении внутренних разломно-трещинных областей и зон разгрузки со ступенчатым смещением редокс-фронтов вниз по разрезу рудовмещающих толщ. Роль разломов в локализации гидрогенного уранового оруденения характерна также для провинций, соседствующих с крупными нефтегазоносными областями, которые являются источниками газово-жидких восстановителей (Южно-Техасская в обрамлении области Мексиканского залива и Центрально-Кызылкумская, соседствующая с Бухаро-Хивинской областью). Не исключено также, что по аналогии с провинцией Южного Техаса формирование пластово-ролловых, а также секущих штокверковых гидрогенных концентраций урана возможно в непосредственном обрамлении Западно-Сибирской нефтегазоносной области, причем на значительном удалении от Урало-Енисейского пояса развития палеодолинных месторождений. В частности, урановые концентрации предполагаются на юрском стратиграфическом уровне в зоне латерального формационного перехода баженовской свиты (черносланцевой — нефтегазоносной, специализированной на золото и уран [11]) к терригенным песчано-глинистым эквивалентам баженовитов.

Для палеодолинной разновидности песчаникового типа гидрогенных месторождений также выявлены некоторые важные особенности, которые состоят в трассировании региональных рудоконтролирующих структур тафрогенного происхождения: PZ₃-J и K-N палеорифтовых зон на древнем основании, включающем гранито-гнейсовые купола предрифейского заложения. Наиболее крупная

Восточно-Африканская палеорифтовая зона, протянувшаяся от Красного моря и Индийского океана на севере до Атлантического океана на юге, имеет длину более 3 тыс. км. Она контролирует эшелонированную систему продольных грабенов, выполненных сероцветными угленосными (C_3) и пестроцветными ($P-J_1$) отложениями надсерии карру, которая вмещает урановые месторождения песчано-угольного и песчаникового типов и перекрыта мощными покровами юрских платобазальтов (траппов) серии Дракенберг. В раздувах рифтовой системы, в ее основании, реконструируются крупные предрифейские купольные структуры (Ньяса, Лимпопо, Кейп), трёхлучевая инфраструктура которых унаследованно отражается в радиальном размещении рудоносных грабенов карру. Мощные трапповые излияния, перекрывающие ураноносные палеодолины, синхронны эпохе раскола праматерика Гондваны и раскрытия «молодых» океанов. Вероятным аналогом этой структуры может быть палеозабайкальская MZ–KZ Витим-Амалатская система с ураноносными палеодолинами хиагинского типа, перекрывающими их амалатскими траппами и Витимским полихронным гранитным батолитом (куполом) в основании.

Проведенный анализ характерных особенностей размещения и формирования урановорудных территорий на уровне выделенных групп и надгрупп рудных провинций позволяет провести металлогеническое районирование континентов Земли с выделением двух глобальных элементов: трансконтинентальных окраинно- и внутриконтинентальных рудных мегапоясов (а) и гигантских рудных узлов (б) (рис. 1). Выделяются девять рудных мегапоясов (I–IX), различающихся ориентировкой, протяженностью, характером субстрата, временем заложения и подновления, происхождением и, главное, группами рудных провинций и типами месторождений. Наиболее протяжен субширотный мегапояс – линейный Карпинского, трансиреющий через весь континент Евразии – от Атлантического до Тихого океанов [1]. На его пересечении с субмеридиональными мегапоясами выделяются три гигантских рудных узла (Средне-Европейский, Средне-Азиатский и Монголо-Забайкальский), для которых характерна высокая концентрация рудных территорий и месторождений не только урановой, но и иной металлогенической специализации.

Намечаются три главные группы мегапоясов (рис. 1): А – наиболее молодые (N–Q), сформированные вдоль кайнозойских мобильных поясов на суборогенных окраинах древних и молодых платформ – фрагменты Восточно-Тихоокеанского пояса (I); Б – сформированные в MZ за счёт субдукционной переработки Западно-Тихоокеанской цепочки синформных нуклеаров (II); В – производные разновозрастной переработки палеопротерозойских тафрогенных структур – протоавлакогенов и «вложенных» в них предрифейских куполов (III–IX). В последнюю группу входят мегапояса рифейской (IV, X, XI, XII), PZ₃–MZ₁ (III) и MZ–KZ (V–IX) металлогенических эпох. Для мегапоясов группы А характерны рудные провинции с песчаниковым, фосфоритовым и вулканитовыми типами. Группе Б свойственны лейкогранитовый и вулканитовый типы. Наибольшим разнообразием и комбинациями ведущих типов месторождений и провинций отличаются мегапояса группы В.

Металлогения гигантских рудных узлов является функцией телескопирования ресурсов мегапоясов разного возраста и происхождения. Для Средне-Европейского узла характерно преобладание гранитового и черносланцевого типов, для Средне-Азиатского узла – песчаникового, вулканитового и отчасти гранитового, для Монголо-Забайкальского узла – вулканитового, песчаникового и лейкогранитового. Ресурсы урана мегапоясов и рудных узлов от 500 до 1500 тыс. т. Результаты проведенного металлогенического районирования отражают наиболее общие закономерности распределения урана в структурах земной коры и могут быть использованы для регионального прогнозирования.

На новом фактографическом и аналитическом уровне выявляется ряд важных планетарных факторов геологии и металлогении урана: роль углеродистого флюидно-восстановительного эпигенеза в урановом рудообразовании; значение базальтоидного магматизма как генератора и индикатора мантийно-коровых рудоформирующих систем; линейно-геоблоковая делимость континентальной земной коры как основа металлогенического районирования на уран в глобальном и региональном масштабах; фактор геологического времени в урановом рудообразовании и металлогенические эпохи; фактор тектонофизического соответствия глобальных и локальных геодинамических обстановок в прогнозе месторождений-гигантов.

Разноплановый сравнительный анализ информации по урановым и комплексным рудным территориям мира позволил обосновать и развить ряд инновационных разработок специальной металлогении, которые могут иметь научно-практическое значение: «купольно-бассейновая» концепция формирования урановых месторождений и территорий; представления о полихронности, полнотности и этажности крупных рудных провинций, сформированных в структурах древних куполов, производных их активизации и перекрывающих бассейнов; концентрически-зональное размещение рудоконтролирующих редокс-фронтов в артезианских осадочных бассейнах; принципы абстрактных аналогий и конвергентности в металлогении и региональном прогнозировании на уран; способ обобщенной параметрической оценки тектонофизических параметров геодинамических обстановок на основе анализа градиентов палеонапряженности магнитного поля, что делает возможным впервые на количественной основе оценивать геодинамическое своеобразие разновременных глобальных металлогенических эпох.

Сделан ряд прогнозов по территории России и некоторым зарубежным регионам. В азиатской части России прогнозируются различные типы эндогенного и полигенного уранового оруденения на флангах и достижимых глубинах определившихся горнорудных территорий в пределах Центрально-Алданского (алмазы кумдыкольского типа), Чарского, Витим-Амалатского геоблоков. Кроме того, предполагается проявление гидрогенного оруденения в южном обрамлении Западно-Сибирской нефтегазоносной области на значительном удалении от горных поднятий и районов развития палеодолитных месторождений. Для зарубежных территорий следует подтвердить сделанные ранее [2, 3] прогнозы по Чешскому массиву на тип несогласия (блок Добриш восточнее Пшибрама) и по Центрально-Украинскому геоблоку на ведущий киро-

воградский – альбититовый тип в Чигиринском и Богуславском протограбенах. В качестве аналога рудной мегапровинции североамериканских Скалистых гор (Колорадо-Вайоминг) предполагается Лут-Белуджистанский срединный массив (гранито-гнейсовый купол) на границе Ирана и Афганистана, перекрытый мезозойским осадочным бассейном и обрамлённый киммерийско-альпийскими горными сооружениями Парапамиза-Гиндукуша и Гималаев.

Многие из рассмотренных проблем выходят за рамки специальной металлогении урана и позволяют обсуждать с новых позиций ряд фундаментальных положений металлогенического учения в целом.

1. *Афанасьев Г.В.* Линеамент Карпинского: новый взгляд на историю развития и особенности минерации // Регион. геология и металлогения. 1997. № 7. – С. 58–70.
2. *Афанасьев Г.В.* Метод абстрактных аналогий в региональном прогнозировании на уран // Отечеств. геология. 2004. № 4–5. – С. 17–24.
3. *Афанасьев Г.В., Миронов Ю.Б.* Уран в купольных структурах земной коры. Опыт палеореконовструкций в металлогении. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. – 360 с.
4. *Казанский В.И., Лаверов Н.П., Тугаринов А.И.* Эволюция уранового рудообразования. – М.: Атомиздат, 1978. – 208 с.
5. *Кисляков Я.М., Щеточкин В.Н.* Гидрогенное рудообразование. – М.: Геоинформмарк, 2000. – 608 с.

6. *Константинов М.М., Куликова Е.Я.* Урановые провинции. – М.: Атомиздат, 1960. – 306 с.
7. *Лаверов Н.П., Смилкстын А.О., Шумилин М.В.* Зарубежные месторождения урана. – М.: Недра, 1983. – 320 с.
8. Металлогения урана континентальных блоков земной коры / Г.В. Афанасьев, С.В. Бузовкин, Б.Б. Голубев. Ред. Ю.М. Шувалов. – Л.: Недра, 1980. – 256 с.
9. *Миронов Ю.Б.* Уран Монголии. – СПб.: Изд-во ООО «Олимп», 2003. – 326 с.
10. Основы прогноза урановорудных провинций и районов / ред. Н.П. Лаверов. – М.: Недра, 1986. – 206 с.
11. *Петров О.В., Соболев Н.Н., Карпунин А.М.* и др. Минерагенические особенности черносланцевых формаций // Регион. геология и металлогения. 2007. № 32. – С. 126–133.
12. *Тарханов А.В., Бугриева Е.В.* Крупнейшие урановые месторождения мира // Минеральное сырьё. № 27. – М.: ВИМС, 2012. – 118 с.
13. Тезисы Третьего международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производство». – М.: ВИМС, 2013.
14. Уран российских недр / ред. Г.А. Машковцев. – М., 2010. – 850 с.
15. *Dahlkamp F.J.* Uranium Deposits of the World – Asia. – Berlin–Heidelberg: Springer Verlag, 2009. 508 p.
16. *Dahlkamp F.J.* Uranium Deposits of the World – USA and Latin America – Berlin–Heidelberg: Springer Verlag, 2010. 518 p.
17. *Hazen R.M., Eyring R.C., Sverjexsky D.A.* Evolution of uranium and thorium minerals // American Mineralogist. 2009. Vol. 94. N 7. P. 1293–1311.
18. Uranium 2011: Resources, Production and Demand. AEN, NEA, 2012. 489 p.

Афанасьев Георгий Владимирович – доктор геол.-минер. наук, консультант.

Миронов Юрий Борисович – доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ. <Yuri_Mironov@vsegei.ru>.

Пинский Эдуард Маркович – доктор геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Eduard_Pinsky@vsegei.ru>.