

УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПРОВИНЦИИ ТИПА НЕСОГЛАСИЯ

Месторождения урана типа несогласия размещаются в основании надкупольных эпикратонных впадин вблизи поверхностей региональных структурно-стратиграфических несогласий (ССН). По возрасту впадин они разделяются на два подтипа (предверхнекарельский и предрифейский) и включают три разновидности по условиям локализации, морфологии рудных залежей и степени концентрации урана (канадскую, австралийскую, индийскую). Предлагается гипотеза – пластово-сегрегационный (конкреционный) механизм формирования уранового оруденения. Особенности разновидностей типа могут быть использованы в качестве прогнозных критериев для выявления новых крупных объектов в разных регионах мира, в том числе и в России.

Ключевые слова: купола, впадины, песчаники, сегрегация, конкреции.

Unconformity-type uranium deposits are located at the base of superdome epicratonic depressions near surfaces of regional structural stratigraphic unconformities (SSU). The unconformities are subdivided into two subtypes (pre-Upper Karelian and pre-Riphean) based on the age of depressions and SSU and include three varieties depending on conditions of location, morphology of ore deposits, and degree of U concentration (Canadian, Australian and Indian). A hypothesis of stage-by-stage-segregation (concretionary) mechanism of uranium mineralization formation is proposed. Specific features of type varieties can be used as predictive criteria for identifying new targets in different regions of the world, including Russia.

Keywords: domes, depressions, sandstone, segregation, nodules.

К типу несогласия в специальной металлогении относятся важнейшие в промышленном отношении урановые месторождения со стратиформным оруденением вблизи поверхностей региональных ССН в основании древних эпикратонных впадин. Провинциями несогласия считаются урановорудные территории, где ведущим или единственным промышленным типом является тип несогласия. Древние рудоносные впадины сформировались в стратиграфическом интервале веписий – рифей (1950–1350 млн лет) и выполнены молассоидами с прослоями карбонатных и местами углеродистых пород в верхах разреза. Несмотря на относительную многочисленность такого рода впадин, основные промышленные ресурсы этого типа, составляющие около 2–2,5 млн т урана, пока достоверно установлены лишь в двух провинциях – Атабаска в Канаде и Индо-Австралийская, ныне разделенная Индийским океаном. Эти провинции достаточно хорошо изучены, многократно охарактеризованы в зарубежной и весьма обширной отечественной геологической литературе [2–5, 7, 8, 10, 12], большинство исследователей относят их к классу полигенных. Вместе с тем, проблемы их формирования остаются перманентно дискуссионными, в особенности вопросы об источниках урана и механизмах рудо локализации, а критерии прогнозирования их аналогов и гомологов, несомненно, требуют совершенствования, учитывая малое число провинций-прототипов.

В современных структурах континентов древние ураноносные впадины разных размеров и степени

сохранности размещаются цепочками в пределах глобального субширотного пояса между параллелями 60° с.ш. и 20° ю.ш. На протоконтинентах Лавразия и Гондвана впадины образуют две цепочки. В лавразийскую цепочку входят впадины Атабаска и Телон в Канаде, Пражская в Чехии, Пашско-Ладожская и Прионежская в Карелии, Овручская на Украине, Анновская в воронежском Придонье, Вороговская на Енисее, Березовская и Удоканская в Восточной Сибири, Улканская на Дальнем Востоке. В свою очередь гондванская цепочка включает впадины Франсвиль в Габоне, Фалеа в Мали, Катанга в Заире и Замбии, Куддапах-Чаттисгарх-Сингбхум в Индии, Мак-Артур в Австралии. Большая часть впадин относится к рифею, меньшая к веписию. Вопрос о возрастной и стратиграфической принадлежности некоторых из них, например впадин Куддапах и Мак-Артур, остается дискуссионным. В частности, в сводках по докембрию континентов Земли Л. И. Салоп относит их к рифею.

Согласно палеорекострукциям [1, 2], в основании древних платформ и срединных массивов складчатых областей (т. е. на древних и молодых читах) перечисленные впадины, в том числе Атабаска и Мак-Артур – Куддапах, в провинциях-прототипах резко несогласно перекрывают структуры вскрытых эрозией гигантских купольных структур допредрифейского заложения (~2 млрд лет). Как правило, структуры этой глобальной генерации представляют собой овальные гранито-гнейсовые купола (ГГК) диаметром в плане 400–600

(до 1000) км, которые сформированы в результате ультраметаморфического преобразования тыловых, наиболее удаленных от праокеанов частей среднедокембрийских протоавлакогенов (ПА). Выполнение ПА представлено вулканогенно-осадочными комплексами первично-терригенно-карбонатно-глинистого состава с пачками и горизонтами, обогащенными сульфидами и углеродистым веществом (т. н. пёстрые серии). Вне ГГК регионально-зеленокаменно-метаморфизованные пестрые серии характеризуются отчетливой геохимической специализацией на широкий спектр халько-, сидеро- и литофильных рудогенных элементов, в том числе на уран, и вмещают многочисленные стратиформные и реже жильно-штокверковые полиметаллические месторождения с неперменной примесью урана в рудах. В кровле ГГК и унаследованно в основании наложенных древних впадин размещение урановых и комплексных месторождений типа несогласия, как правило, контролируется определенными типоморфными элементами купольной инфраструктуры – протограбенами. Эти структуры компенсационного проседания и обрушения с максимальной сохранившейся мощностью разреза кровли и преобладающей амфиболитовой фацией метаморфизма пород представляют собой секториальные блоки поля двукратной магматической и ультраметаморфической гранитизации, ограниченные долгоживущими разломами и составляющие модельную трех-, иногда четырехлучевую радиальную систему. Зоны краевых и внутренних разломов в протограбенах ГГК различных регионов, в том числе в провинциях типа несогласия, вмещают более древние урановые (\pm TR, Au) месторождения в приразломных щелочных (K, Na, Mg) метасоматитах аляскитового–порфиривого (Россинг) и альбититового–эйситового (Биверлодж) типов.

Характерная особенность ГГК этой глобальной генерации – проявление заключительного коллизионного магматизма, представленного интрузивными комплексами комплементарного состава, от габбро и перидотитов до гранитов рапакиви, имеющих главным образом раннерифейский возраст. Для впадин разных генераций проявления магматизма либо предшествуют их заложению, либо непосредственно следуют за их формированием, рассекая поверхность несогласий.

Как показывают палеотектонические и палинспастические реконструкции [2, 3], первичный геологический и металлогенический облик урановых провинций и даже их положение в структурах континентов существенно изменялись в результате глобальных и/или региональных процессов тектоно-магматической активизации (ТМА) и пр. В частности, при распаде праматерика Гондвана в юре два урановорудных района ранее единой Индо-Австралийской провинции оказались по разные стороны «молодого» Индийского океана, а альпийская коллизия Гондваны и Евразии превратила предгималайскую окраину этой провинции (Сингбхум) в зону шарьяжей с покровно-складчатым строением. В результате позднерифейских процессов «панафриканского диастрофизма» и формирования байкальского Дамара-Катангского складчатого пояса краевая Луфулийская зона надкупольной впадины Катанга испытала сложные складчато-глыбовые деформации с разнообразной регенерацией ранее сформированных стратиформных залежей медного пояса Заира и Замбии

и особенно урановых месторождений блока Кафуэ и месторождения Шинколобе. При региональных процессах ТМА различного возраста (от байкальских до альпийских) происходили локальная перестройка структур и гидротермальная регенерация руд с изменением положения, морфологии и вещественного состава рудных залежей. Весьма интенсивные трансформации происходили при внедрении в пределы рудоносных эпикратонных впадин крупных гранитоидных плутонов, в экзоконтактах которых стратиформные рудные залежи типа несогласия превращались в сложные системы жил и штокверков с отрывом от поверхности ССН на сотни метров до 1 км (Пшибрам, Торгой, Набарлек и др.).

Основные черты геологии и месторождений типа несогласия в целом и особенности его условных подтипов (предрифейского–канадского и предвепсийского – индо-австралийского) устанавливаются при анализе информации по известным промышленным «эталонным» рудным территориям, приуроченным ко впадинам разного возраста и не претерпевшим существенных последующих изменений по провинциям Атабаска и Индо-Австралийская. Общим для месторождений типа несогласия является размещение рудных залежей вблизи поверхности ССН с тяготением их к графитоносным горизонтам пёстрых серий основания. Подтипы отличаются не только по возрасту впадин, но также и по положению стратиформного уранового оруденения относительно поверхности ССН, масштабам месторождений, содержанию урана в рудах и ассоциациям сопутствующих рудогенных элементов. Для месторождений предвепсийского–австралийского подтипа характерно размещение оруденения преимущественно ниже границы несогласия (рудный район Аллигейтор-Риверс), а для предрифейского – канадского подтипа положение как ниже, так и выше неё (рудный район Волластон-Саскачеван).

Ранее предполагалось, что резкие различия подтипов по степени концентрации урана обусловлены в основном двумя сопряженными во времени и пространстве важными факторами [1]: 1) временем проявления и интенсивностью коллизионного гранитоидного магматизма в структурах куполов основания, который в канадском варианте проявился весьма интенсивно, предшествовал формированию впадин и, вероятно, способствовал эндогенной «подготовке» субстрата и концентрации его рудно-геохимических ресурсов, а в австралийском варианте был представлен малыми интрузиями гранитов, следовал за процессами рудообразования и приводил лишь к локальной регенерации руд в экзоконтактовых зонах (Эль-Шарана, Корнейшн-Хилл, Набарлек); 2) продолжительностью континентального перерыва (соответственно 400 и 100 млн лет) перед формированием впадин с образованием реголитов и кор выветривания на породах пестрых серий с экзогенной перегруппировкой и мобилизацией урана. Всё сказанное в различной мере учитывалось на мировом и отечественном уровнях при разработке современного комплекса критериев регионального прогнозирования, однако уже в течение более 40 лет они не привели к обнаружению крупных рудных объектов за пределами известных рудных провинций. В связи с несомненным дефицитом прогнозных критериев для объектов типа несогласия следует ещё раз пересмотреть информацию

по эталонным рудным провинциям и районам для выявления неучтенных особенностей размещения руд в зонах ССН и условий их формирования.

Рудная провинция Атабаска располагается на юго-западной окраине Канадского щита Северо-Американской платформы в пределах сиалического геоблока Черчилл [5, 7, 10, 12, 13]. Согласно палеореконструкциям, провинция приурочена к крупнейшей купольной структуре предрифейского заложения (ГГК) диаметром около 1000 км, которая сформирована в тыловой части протоавлакогена Бэр-Волластон за счет ультраметаморфизма пестрых серий его выполнения (группы-эквиваленты Тейзин, Питер-Ривер, Ноначо, Волластон). Структуры купола Атабаска мощно интродуцированы «молодыми» гудзонскими (1750–1700 млн лет) калиевыми гранитами и ассоциирующими с ними малыми интрузиями габброноритов, составляющими единый коллизионный комплекс Роттенстоун. Хорошо выраженная компенсационная структура купола представлена трех-, возможно, четырехлучевой системой секториальных блоков-протограбенов (рис. 1). Эродированные и гранитизированные структуры купола Атабаска с резким структурно-стратиграфическим и метаморфическим несогласием перекрыты крупными рифейскими впадинами-бассейнами Атабаска и Телон с мощностью слабифицированного карбонатно-терригенного (молассоидного) выполнения до 1–1,5 км. Главной рудовмещающей впадиной является бассейн Атабаска овальной конфигурации и площадью около 40–45 тыс. км². В разрезе среднего рифея (группа Атабаска) выделяются три толщи: 1) нижняя терригенная толща, включающая базальную формацию Маниту-Фоллс конгломерат-песчаникового состава с реголитами (от 10 до 50 м) в основании; 2) средняя толща гравелит-песчаникового состава с горизонтами темно-серых битуминозных и углеродистых алевролитов, аргиллитов и фосфоритов в верхней части (формация Вулерайн-Пойнт); 3) верхняя карбонатная толща, представленная строматолитовыми и оолитовыми доломитами (формация Карсуэлл) [11]. Многочисленные стратиформные месторождения типа несогласия размещаются в северной половине субмеридионального секториального блока Волластон-Саскачеван общей длиной около 400 км при ширине от 20 до 200 км. Наиболее крупные месторождения с запасами от 25–50 до 100–200 тыс. т тянутся прерывистой цепочкой (рис. 2) протяженностью около 200 км вдоль крутопадающей зоны западного краевого разлома Уотерберри (Кэбл Вей) и локализируются на пересечении его с пологой поверхностью предатабасского несогласия на глубинах более 500 м от поверхности [7, 12, 13]. Богатое оруденение с содержаниями урана до 10–20% развивается вблизи поверхности ССН, удаляясь от неё вверх, в реголиты и песчаники серии Атабаска до 150 м, и вниз, в метаморфиты основания до 200–300 м. Исключениями из этого правила являются месторождения Раббит-Лейк и Милле ниум, где урановое оруденение размещается большей частью в породах основания [12]. Суммарные разведанные запасы блока Волластон превышают 500 тыс. т урана, а линейная удельная продуктивность зоны Уотерберри составляет около 2,5 тыс. т на 1 км. Ресурсы урана провинции в месторождениях несогласия могут достигать 1 млн т. На территории провинции Атабаска кроме месторождений типа несогласия уже давно известны небольшие более

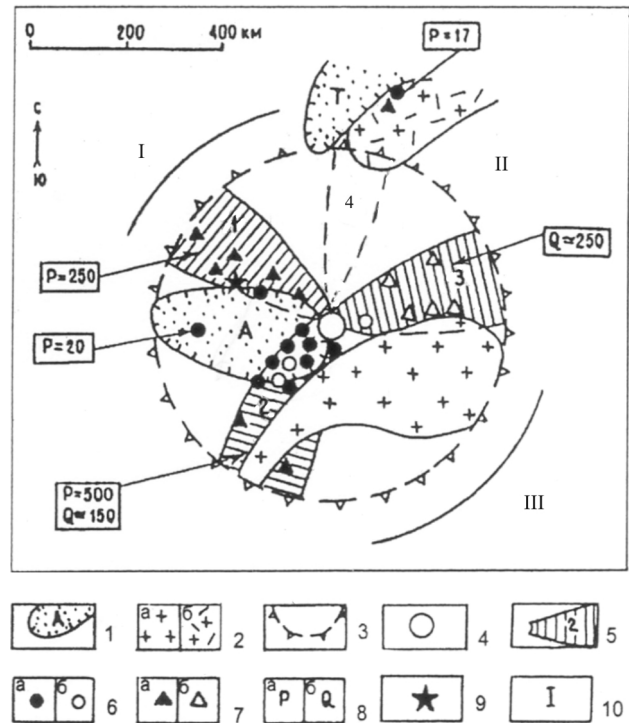


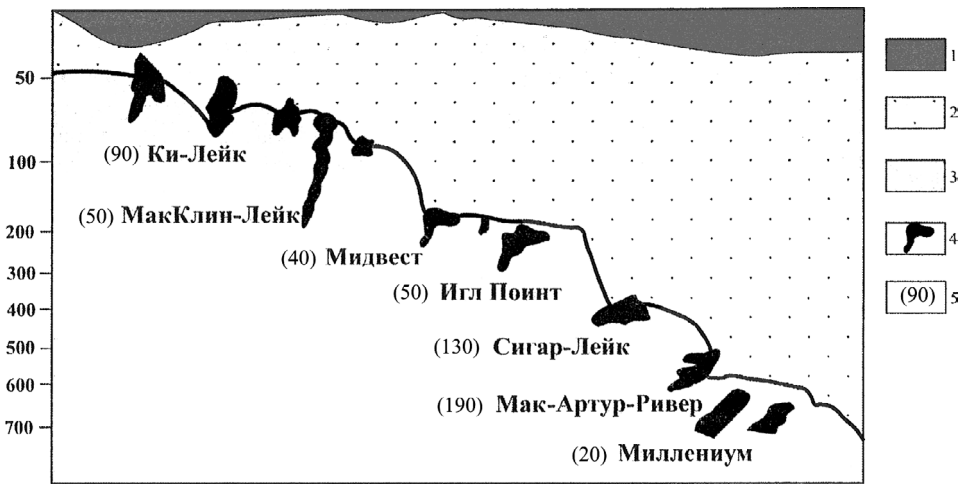
Рис. 1. Схема размещения урановых месторождений в структурах провинции Атабаска [2, 3]

1 – рифейские эпикратонные впадины Атабаска (А) и Телон (Т); 2 – предрифейские коллизионные магматиты (а – гудзонские граниты, б – ассоциация гранитов и кислых вулканитов); 3–5 – элементы компенсационной инфраструктуры предрифейского гранито-гнейсового купола (реконструкция): 3 – условная граница внутренней и внешней зон, 4 – геометрический центр (ядро), 5 – секториальные блоки проседания кровли – протограбены (1 – Ураниум-Сити, 2 – Волластон-Саскачеван, 3 – Волластон-Манитоба, 4 – Телон (предположительно); 6, 7 – урановые и комплексные месторождения, реальные (а) и предполагаемые (б); 8 – рифейские стратиформные типа несогласия, 7 – дорифейские в приразломных щелочных метасоматитах; 8 – ресурсы урана в протограбенах или обособленных рудных узлах (тыс. т), реальные (а) и предполагаемые (б); 9 – месторождения золота (тип Николсон); 10 – геоблоки Канадского щита (I – Слейв, II – Черчилл, III – Сьюпериор)

«древние» месторождения урана (\pm Au, Ag, Ni, Co, As, Mo, Pb, Zn, Pd) в приразломных щелочных метасоматитах секториального блока Ураниум-Сити, локализованные среди пород пестрых серий основания бассейна: жильные в эйсах района Биверлодж и «порфиоровые» в аляскитах-пегматоидах района Шарлебуа. Этот же набор элементов-спутников, и особенно никеля (Ки-Лейк), характерен для урановых руд несогласия [7, 12]. В южной части блока Волластон и его обрамления среди пород основания также известны «порфиоровые» месторождения Кри-Лейк и Лак-ла-Ронж. Общие ресурсы «древних» месторождений урана в целом оцениваются в 100 тыс. т [12]. Вне впадины Атабаска в базальных песчаниках бассейна Телон известно урановое месторождение Лоун-Гал (Киггавик) с запасами более 20 тыс. т. Оно предположительно относится к четвертому секториальному блоку купола Атабаска (рис. 1). Изотопные возрасты урановых руд несогласия 1650–1600, 1350–1150 и 1050–900 млн лет, они отвечают как завершению процессов формирования основной массы богатого оруденения, так и эпохам активизационной регенерации руд.

Рис. 2. Положение урановых месторождений в бассейне Атабаска относительно поверхности предрифейского несогласия (блок Волластон-Саскачеван) [12]

1 – четвертичные отложения; 2 – песчаники атабаска; 3 – метаморфиты основания (пестрые серии); 4 – рудные залежи; 5 – запасы урана в тыс. т



Особый интерес для сравнительного анализа истории геологического развития, структурного и магматического контроля оруденения, источника рудного вещества и путей миграции рудных компонентов бассейнов Атабаска и Телон представляют результаты, полученные по проекту GEM Uranium [16] консорциума NE Thelon и Геологической службы Канады в 2010–2012 гг. (рис. 3).

Элементы аналогий и различий в предложенных моделях рудоносных бассейнов дают новое понимание вопросов рудообразования, совершенствуют возможности удаленного прогнозирования и оказывают влияние на стратегию геологоразведочных работ.

Предлагаемая модель связывает источник урана бассейна Телон с распределением элементов в других рудно-магматических системах.

Индо-Австралийская рудная провинция объединяет два обособленных, разделенных Индийским океаном рудных района Аллигейтор-Ривер

(Арнемленд) в Северной Австралии и Куддапах-Сингбхум в Юго-Восточной Индии. Согласно палеорекострукциям, провинция приурочена к структурам гранито-гнейсового купола предрифейского заложения с трёхлучевой системой протограбенов, контролирующей размещение урановых месторождений вблизи основания обширной вепсийской наложенной впадины Мак-Артур и её аналогов в Индии (рис. 4). Купол и рудная провинция в нем располагаются в северной тыловой части субмеридионального протоавлакогена Лиммен протяженностью более 2 тыс. км, врезанного в кратонное основание и выполненного пёстрыми сериями с геохимической специализацией широкого спектра. На северном и южном флангах рудной провинции, соответственно в районах Бхима в Индии и Теннант-Крик в Австралии, в основании впадин пёстрые серии протоавлакогена (формации-эквиваленты Голден-Дайк, Кулпин, Кэхилл, Бхима

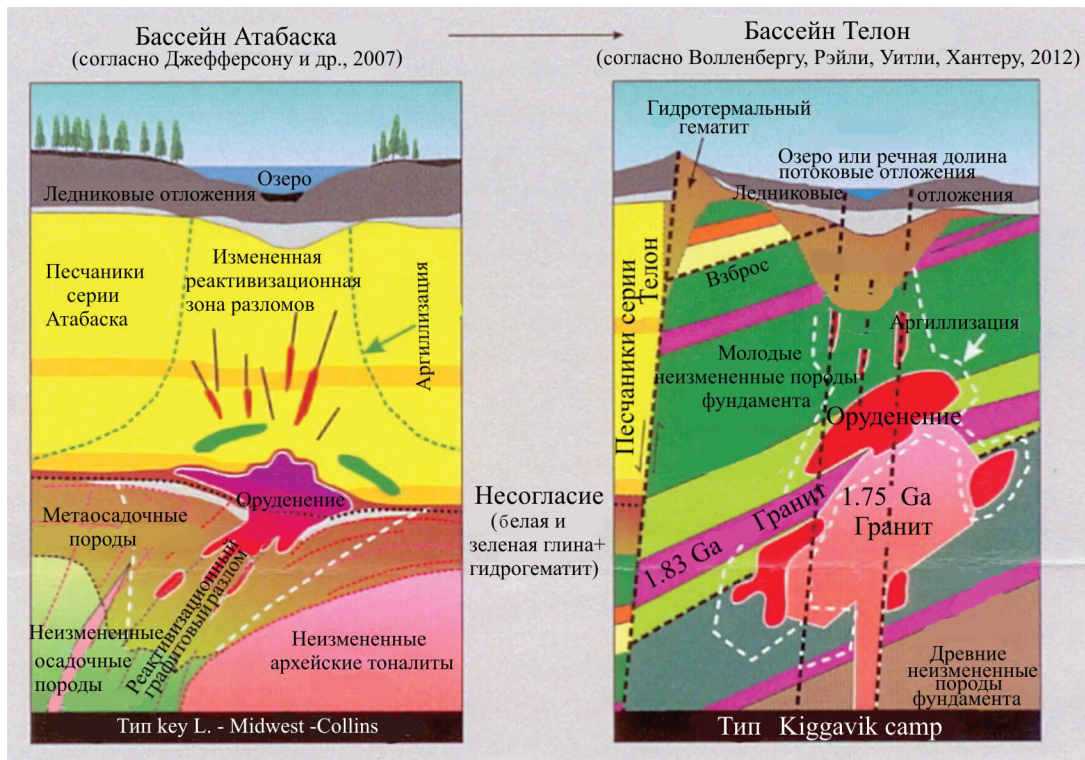


Рис. 3. Адаптация моделей бассейнов Атабаска и Телон [16]

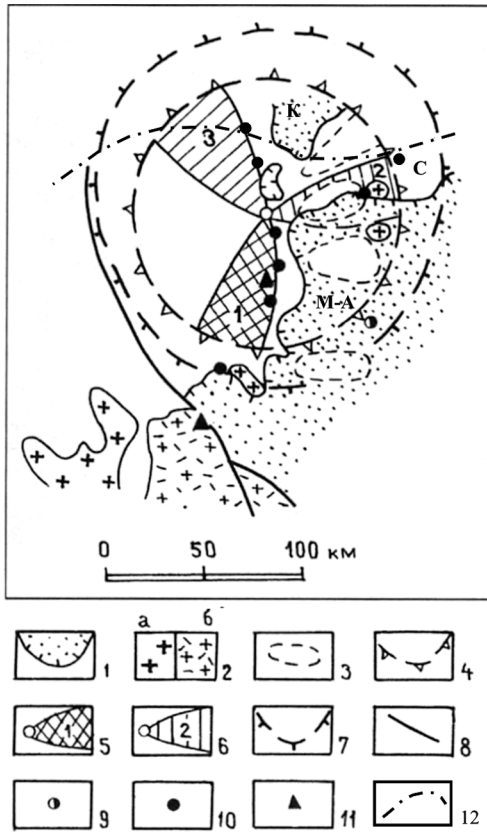


Рис. 4. Схема размещения урановых месторождений в структурах Индо-Австралийской рудной провинции (районы Аллигейтор-Риверс и Куддапах-Сингбхум) с реконструкцией предрифейского гранито-гнейсового купола на территории Гондваны [2]

1 – отложения вепсийских впадин Мак-Артур (М-А) и Куддапах (К); 2, 3 – предрифейские коллизионные мигматиты; 2а – граниты, 2б – кислые вулканиды, 3 – долериты Оэмпелли; 4–7 – элементы инфраструктуры гранито-гнейсового купола: 4 – внутренняя зона, 5, 6 – секториальные блоки проседания – протограбены; 5 – мигматит-гранитового типа (1 – Магела-Нанамбу), 6 – мигматит-гнейсового типа (2 – Оэмпелли-Сингбхум, 3 – Ист-Аллигейтор-Куддапах), 7 – условная граница купола; 8 – разломы; 9 – сульфидно-полиметаллическое месторождение Булман; 10, 11 – урановые месторождения: 10 – типа несогласия, 11 – жильно-штоковкового типа в приразломных метасоматитах; 12 – предполагаемый шов раскола Гондваны. Рудный пояс Сингбхум (С)

и др.) вмещают многочисленные стратиформные сульфидно-полиметаллические (\pm Au, Ag, Cd, Ge, Se, U) месторождения метаморфогенно-осадочного генезиса. В районе Аллигейтор-Риверс месторождения урана (\pm Au, Cu, TR, Pt, Se, V) средних и крупных масштабов от 20 до 140 тыс. т (Кунгарра, Рейнджер, Джабилука, Таннерболт) с рядовыми рудами тянутся прерывистой цепочкой вдоль крутопадающих зон разломов, ограничивающих с востока протограбены Магела-Нанамбу и Ист-Аллигейтор. К северному окончанию этой рудной зоны протяженностью около 200 км, вероятно, относится месторождение Таммалапалле (49 тыс. т) на территории Индии. Большая часть месторождений провинции размещается ниже поверхности несогласия. Ресурсы урана этой зоны составляют около 400 тыс. т.

В районе Куддапах-Сингбхум урановое оруденение известно в пределах двух удаленных друг от друга протяженных зон: Куддапах вдоль западного

края одноименного бассейна (рис. 5) и Сингбхум (Cu-U рудного пояса) в предгималайской части Индостана. В зоне Куддапах преимущественно пластовые пологозалегающие залежи прожилково-вкрапленных бедных урановых, медно-урановых руд мощностью 6–25 м размещаются как выше, так и ниже поверхности ССН [15]. Протяженность рудной зоны составляет около 150 км, а ресурсы урана могут превышать 175 тыс. т. Зона Сингбхум, в отличие от предыдущей, размещается в пределах предгималайской полосы покровно-складчатого строения, а оруденение, согласно реконструкциям, приурочено к ядру опрокинутой антиклинальной складки в подошве шарьяжной пластины. В реконструированном варианте строение и вещественный состав рудной зоны Сингбхум аналогичны зоне Куддапах. Линейная удельная продуктивность двух основных нетрансформированных рудных зон Индо-Австралийской провинции составляет 2,0 тыс. т в первой и более 1,2 тыс. т/км во второй. Изотопный возраст уранового оруденения провинции 1650–1440 млн лет.

Характерной особенностью Индо-Австралийской провинции в целом (в отличие от провинции Атабаска) является широчайшее развитие в базальных частях впадин обширных и мощных (до 250 м) долеритовых силлов-лополитов, внедрение которых (1720–1700 млн лет) предшествовало эпохе рудообразования. В зоне Куддапах они почти непрерывно размещаются среди кварцито-песчаников базальной формации Вемпалле, причем выше и субпараллельно рудоконтролирующей поверхности несогласия, как бы бронируя преимущественно такие силы в результате подворота слоев оказались в лежачем крыле антиклинали под рудоносными слоями базальной пачки Чейбаза. Несмотря на широчайшее региональное распространение долеритовых силлов на территории провинции, в рудной зоне Кунгарра-Рейнджер-Джабилука они полностью отсутствуют. Лишь на месторождении Набарлек в протограбене Оэмпелли, перекрытом долеритами, урановое оруденение размещается не под долеритами, а в их кровле, по всей вероятности свидетельствуя о заимствовании металла из вепсийских песчаников.

Рассматривая геологию и металлогению трёх «эталонных» рудных районов с месторождениями типа несогласия, следует сделать вывод о необходимости расширения ранее отмеченного «списка» причин-факторов, обусловивших резкие различия подтипов по степени концентрации урана. Наряду с факторами времени и интенсивности проявления коллизионного гранитоидного магматизма и продолжительности континентального перерыва перед формированием впадин несомненное влияние на рудообразование имел импульс проявления базальтоидного магматизма в форме весьма обширных и мощных долеритовых силлов-лополитов [5, 7, 9, 15]. Эти пластовые интрузии на территории Индо-Австралийской провинции объединяются в комплекс Оэмпелли. По времени внедрения в базальные слои вепсийских впадин они скорее всего предшествовали или сопутствовали процессам рудообразования в зоне ССН (или участвовали в них), бронировали эту зону от поступления в неё нисходящих ураноносных седиментационных вод (распалов) и сопровождалась восходящими потоками восстановительных газовой-жидких углекислотных

флюидов [9]. Признавая влияние этих трёх факторов на процессы концентрирования урана, необходимо уточнить представления о потенциальных источниках металла и восстановителей, в различных сочетаниях участвовавших в формировании рудных залежей вблизи поверхностей ССН. Огромными ресурсами урана обладали как специализированные породы пёстрых серий кровли купола в основании наложенных впадин, так и локализованные в них древние месторождения в приразломных щелочных метасоматитах. Эти рудно-геохимические ресурсы урана частично «высвобождались» из древних пород и руд при процессах коллизионного гранитоидного магматизма и последующей эрозии и, вероятно, входили в состав седиментационных вод песчаников атабаска, комболджи и куддапах. О первичных и затем «утилизированных» ресурсах молассоидного выполнения впадин могут свидетельствовать современные реликтовые субкларковые содержания урана в песчаниках атабаска (около 1 г/т), а также урановые концентрации в кровле долеритового силла на месторождении Набарлек. Значительная часть урановых ресурсов основания выносилась восходящими гидротермальными растворами с сопутствующими проявлениями корового и мантийно-корового магматизма. Считается, что в число «работоспособных» восстановителей урана в зоне ССН входило углеродистое вещество как графитоносных пород основания впадин, так и битуминозных алевролитов и сланцев типа формаций Вулеерайн-Пойнт (Атабаска) и Бангомбе (Франсвилль), присутствующих в средних частях разреза рифейских впадин [11]. Гидрогенизация углеродистого вещества вблизи ССН в большинстве случаев приводила к его уничтожению с образованием метана при отсутствии битумов в составе урановых залежей [9, 11].

Результатом синергического взаимодействия и сочетания в различных комбинациях перечисленных факторов и источников вещества явилось формирование урановых концентраций типа несогласия, которые большей частью размещаются вдоль зон крутопадающих краевых разломов рудоносных блоков-протограбенов купола на пересечении с пологими поверхностями ССН. Можно условно выделить три основные разновидности рудных районов (рудных зон), отличающихся по уровню (степени) концентрации урана, морфологии рудных залежей и их положению относительно поверхности ССН: 1) протяженные пласто- и линзообразные залежи вкрапленных бедных урановых, медно-урановых руд, локализованных в зоне ССН выше и ниже поверхности несогласия и под почти сплошным экраном кулисного «горизонта» обширных долеритовых силлов (рудные зоны Куддапах и Сингбхум) (рис. 4); 2) объёмные скопления рядовых, реже богатых урановых, золото-урановых (\pm Cu) руд, локализованных ниже поверхности несогласия и разделенных протяженными интервалами убогих концентраций на уровне рудопроявлений и аномалий (рудная зона Ист-Аллигейтор с месторождениями Кунгарра, Рейнджер, Джабилука, Тандерболт и, вероятно, её индийское продолжение с месторождением Таммалапалле); 3) крупно-объёмные скопления урана с богатыми и ультрабогатými настурановыми рудами (до 10–20% U), разделенные «пустыми» промежутками протяженностью в километры и первые десятки километров с признаками ураноносности на уровне аномалий

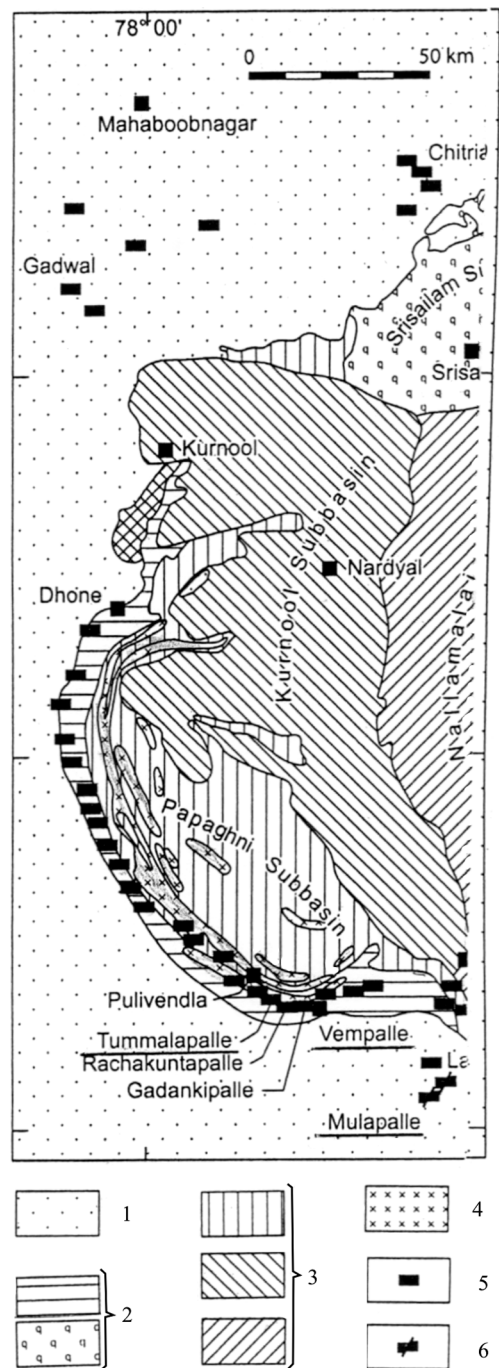


Рис. 5. Размещение уранового оруденения вблизи ССН в основании вепсийского бассейна Куддапах (Индия) [15]

1 – гранитизированные породы основания бассейна – пестрая серия Бхима; 2, 3 – отложения бассейна: 2 – кварцито-песчаники базальной формации Вемпалле-Срисалам, 3 – вышележащие формации суббассейнов Папагни, Карнуол, Налламалай; 4 – долеритовые силлы-лополиты предрифейского комплекса Оэнпелли; 5, 6 – урановые, медно-урановые месторождения типа несогласия: 5 – пластовые (Таммалапалле, Вемпалле), 6 – трещинные (Малапалле)

(зона Уотербери в краевой части блока Волластон-Саскачеван) (рис. 2).

Выделение указанных разновидностей рудных районов (рудных зон) несомненно условно и требует генетического обоснования. В решении этого вопроса значительную помощь могут оказать особенности внутреннего строения и непосредственного обрамления крупных и крупнейших скоплений ура-

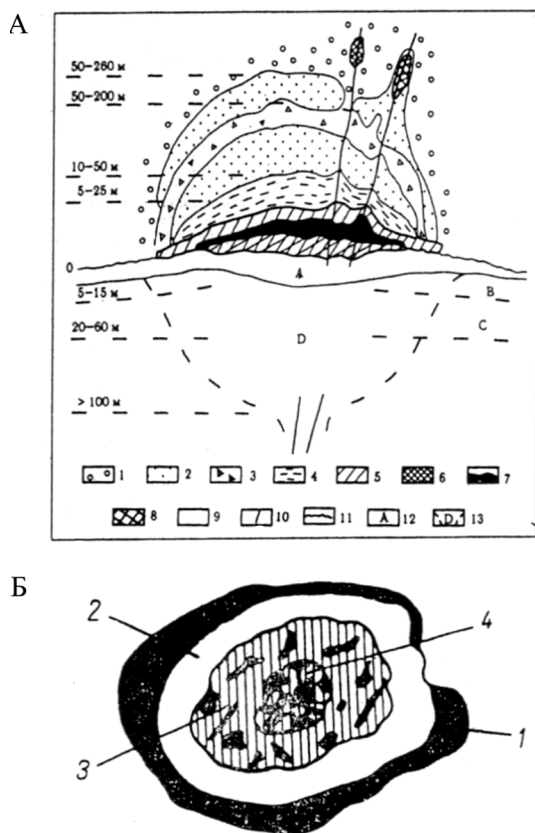


Рис. 6. Минеральная зональность в рудных скоплениях на месторождениях урана пластово-конкреционного происхождения (типы несогласия и метапесчанниковый)

А – концентрическая зональность в поперечном разрезе месторождения Сигар-Лейк, провинция Атабаска [2 со ссылкой на “The Cigar-Lake Uranium deposits...”, 1993]

1 – неизменные песчаники серии Атабаска; *2–5* – изменения в песчаниках и породах основания: *2* – обеление – сульфидизация, *3* – окварцевание, *4* – глинистые изменения, *5* – аргиллизация и гематитизация; *6* – верхние рудные тела (висячие, шестовые); *7* – главное рудное тело; *8, 9* – породы основания: *8* – аргиллизированные, *9* – неизменные; *10* – разломы; *11* – предатабасское несогласие; *12* – реголит (*А* – безграфитовая, *В* – гематитовая, *С* – хлоритовая зоны); *13* – граница зоны изменений в породах основания (*Д*).

Б – концентрически-зональное распределение настурана, графита и халькопирита в рудном «желваке»-конкреции в графитизированных и альбитизированных песчаниках главной рудной залежи месторождения Бихор в Румынских Карпатах [6]

1 – зона, весьма обогащенная настураном и графитом, но без халькопирита; *2* – «пустая» зона – кварц, альбит + диопсид, эпидот (без рудных минералов); *3* – зона с преобладанием халькопирита над настураном; *4* – настуран и халькопирит примерно в равных количествах

на, проявляющиеся в концентрическом размещении зон различного минерального состава, которые обычно относятся к проявлениям эпигенетических изменений вмещающих пород. Наиболее отчетливо такая концентрическая зональность изучена на месторождении Сигар-Лейк (рис. 6, *А*), где главная рудная залежь в форме сигары протяженностью порядка 1 км с поперечником около 100 м последовательно окаймляется зонами аргиллизации, гематитизации, окварцевания и широким ореолом глинистых изменений в песчаниках атабаска и несколько иного минерального состава (\pm иллит, гематит, Mg-хлорит) в графитсодержащих метапородах основания [2, 12]. Такая зональность уникаль-

ных по качеству рудных скоплений в провинции Атабаска весьма напоминает зональность рудных желваков-конкреций диаметром до 10–20 см богатых настурановых руд в главной пластовой рудной залежи месторождения Бихор в Румынских Карпатах (рис. 6, *Б*). Это месторождение обнаружено в надинтрузивном ореоле альбитизации пермских песчаников под литологическими и структурными экранами. Сопоставление столь разномасштабных образований сегрегационного происхождения (на мега- и миниуровнях) не является противопоставленным, так как не выходит за широкие рамки вариаций природных образований и явлений-аналогов (скейлинг-эффект), например, таких как движение по орбитам планет и электронов или сгущений материи от планет в космосе до конкреций в осадках и пр. С таких позиций происхождение богатейших руд несогласия можно считать пластово-сегрегационным (конкреционным), а рудные концентрации выделенных разновидностей производными обособленных в пространстве и времени «отрезков» единого стадийного процесса стяжения – сегрегации вещества. Этот процесс фиксируется тремя «отрезками»: от ранних пластовых залежей с бедным вкрапленным урановым, медно-урановым оруденением (Куддапах и, возможно, Фалеа в Мали [4]), через умеренные рядовые скопления с реликтами ранних пластовых (Аллигейтор-Риверс) до гигантских стяжений-мегаконкреций различной конфигурации с богатыми настурановыми рудами (Волластон). Пространственное обособление и разобщение производных первых двух стадий в рудных районах (зонах) Индо-Австралийской провинции может быть связано с различиями в проявлениях предрифейского основного магматизма (долеритовых силлов комплекса Оэнпелли). В зоне Куддапах они, вероятно, бронировали зону ССН, препятствуя проникновению в неё нисходящих ураноносных кислородных вод из песчаников вепсийской впадины. В зоне Кунгарра–Джабилука, находящейся вне главного ареала массового распространения силлов (т. е. лишенной «долеритовой покрывки»), концентрирование урана продолжалось вплоть до прекращения поступления в зону ССН флюидов-восстановителей (осадителей) урана, связанных с предрифейским магматизмом.

Проблема физико-химических механизмов сегрегации рудного вещества с постоянным участием графита в месторождениях типа несогласия должна стать предметом самостоятельных исследований. Не исключается важная роль в рудоотложении природных гальванических факторов и систем. Весьма интересно также, что сегрегация и стяжение рудного вещества (и вещества вообще) в зоне ССН сопровождались целым рядом «микротектонических» и «псевдокарстовых» явлений, отмечаемых всеми исследователями, в частности, локальным перемещением (сдвижением и надвиганием) участков слюев, выщелачиванием и обрушением карбонатных прослоев. Это может свидетельствовать о высокой мощности процесса сегрегации на контрастном барьере ССН. На месторождении Бихор часто наблюдалось пересечение слоистости и полосчатости вмещающих «тигровых» песчаников границами рудных стяжений-желваков [6].

Кроме рассмотренных рудных районов (зон) эталонных рудных провинций, сравнительного изучения заслуживают еще два объекта типа несогласия, располагающиеся в Западной Африке по

разные стороны Гвинейского залива. Это хорошо известный район Франсвилль в Габоне [5, 7, 13] и недавно обнаруженное месторождение Фалеа на территории Мали [4]. Не исключена их принадлежность к некогда единой (Трансгвинейской) рудной провинции, рудные объекты которой по ряду особенностей сходны с месторождениями куддапакской разновидности типа несогласия, в частности, по присутствию меди ($\pm Ag$) в спектре пластовых урановых руд и наличию силлов основного состава над рудоносной зоной ССН.

Уточненные закономерности размещения и представления об условиях формирования месторождений типа несогласия могут быть использованы в качестве критериев прогноза на территориях за пределами известных урановорудных провинций. Примером может служить оценка перспектив ураноносности предудоканской поверхности ССН в пределах Чарского геоблока на западе Алданского щита. Наиболее интересен Читкандинский район развития урановых рудопоявлений в обширном надинтрузивном ореоле удоканских медистых ($\pm Fe, Ti, U$) песчаников [14]. Этот ореол располагается на 50-километровом участке перекрытия субширотным Удоканским прогибом (вепсийской впадиной) субмеридионального Торгой-Олдонгсинского протограбена Чарского ГКК предрифейского заложения. Ореол по всей вероятности мог сформироваться в результате частичной регенерации рудных залежей типа несогласия, а также нижележащих руд порфирирового, хардагасского и других типов под влиянием прорывающих впадин интрузий гранитов палеозойского и мезозойского возрастов. При прогнозной оценке Читкандинской площади необходимо учитывать не только тип несогласия, но и еще два возможных типа урановых месторождений: регенерационный пшибрамский (жильный) и метапесчаниковый бихорский (пластовый) [2]. Не исключено телескопирование стратиформных рудных залежей несогласия и сегрегационных метапесчаниковых руд на разных, но сближенных уровнях разреза впадины под литологическими и структурными экранами. Перспективный интервал разреза удоканской серии может составлять не более 0,5–0,8 км выше поверхности ССН. В других регионах мира дальнейшего изучения на тип несогласия вблизи предрифейских поверхностей ССН заслуживают тектонический блок Кафуэ в юго-восточной части медного пояса Заира и Замбии (Катанга) и Добришский блок Среднечешского (Пшибрамского) рудного района.

Важное значение в практическом и особенно научном отношении имеет вопрос о существовании месторождений типа несогласия или их реликтов на островах Суматра, Ява, Калимантан и Новая

Гвинея (Папуа) в пределах индонезийского архипелага в Индийском океане, разделяющих рудные районы реконструированной Индо-Австралийской рудной провинции. До настоящего времени признаки такого рода уранового оруждения были известны лишь в массиве Папуа [15] под покровом мезозойского чехла в ситуации, подобной месторождению Тантерболт на севере рудного района Аллигейтор-Риверс.

1. *Афанасьев Г.В.* Месторождения урана типа несогласия: предпосылки формирования, вероятные гомологи, критерии прогнозирования // *Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: Информ. сб. № 143.* – М., 2001. – С. 13–21.
2. *Афанасьев Г.В., Миронов Ю.Б.* Уран в купольных структурах земной коры. Опыт палеорекоkonструкций в металлогении. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. – 360 с.
3. *Афанасьев Г.В., Миронов Ю.Б., Пинский Э.М.* Урановые провинции мира // *Тез. III Междунар. симп. «Уран: геология, ресурсы, производство».* – М.: ВИМС, 2013. – С. 19–20.
4. *Живов В.Л., Бойцов А.В., Шумилин М.В.* Уран: геология, добыча, экономика / ред. Г.А. Машковцев. – М.: РИС ВИМС, 2012. – 304 с.
5. *Казанский В.И., Лаверов Н.П., Тугаринов А.И.* Эволюция уранового рудообразования. – М.: Атомиздат, 1978. – 208 с.
6. *Карпенко В.С.* Явления метаморфизма урановых руд // *Вопросы геологии урана.* – М.: Атомиздат, 1957. – С. 5–19.
7. *Лаверов Н.П., Смилкстын А.О., Шумилин М.В.* Зарубежные месторождения урана. – М.: Недра, 1983. – 320 с.
8. *Основы прогноза урановорудных провинций и районов / ред. Н.П. Лаверов.* – М.: Недра, 1986. – 206 с.
9. *Пакульнис Г.В.* Месторождения типа несогласия и условия их формирования // *Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: Информ. сб. № 158.* – М.: ВИМС, 2012. – С. 89–101.
10. *Пакульнис Г.В., Шумилин М.В.* Месторождения урана типа несогласия района Атабаска (Канада) // *Минералогическое сырьё.* 2005. № 17. – М., ВИМС. – 102 с.
11. *Пинский Э.М., Лебедев Б.А.* Участие рифейского нефтеобразования в формировании уникальных урановых месторождений типа несогласия в осадочном бассейне Атабаска // *Регион. геология и металлогения.* 2007. № 32. – С. 167–179.
12. *Тарханов А.В., Бугриева Е.П.* Крупнейшие урановые месторождения мира / ред. Г.А. Машковцев. – М.: РИС ВИМС, 2010. – 118 с.
13. *Тишкин А.И., Тарханов А.В., Стрельцов В.А.* Урановые месторождения древних щитов. – М.: Недра, 1990. – 144 с.
14. *Уран российских недр / ред. Г.А. Машковцев.* – М.: ВИМС, 2010. – 850 с.
15. *Dahlkamp F.I.* Uranium Deposits of the World. Asia. Berlin–Heidelberg: Springer Verlag, 2009. – 508 p.
16. *GEM Uranium–Northern Canada, PDAC, Toronto:* update: 2012–12.

Афанасьев Георгий Владимирович – доктор геол.-минер. наук, консультант, ВСЕГЕИ. <ogumr@vsegei.ru>.

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>.