

УДК 553.495(71)+(91)

Машковцев Г.А., Мигута А.К., Щеточкин В.Н.  
(ФГБУ «ВИМС»)

## УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «НЕСОГЛАСИЯ» КАНАДСКОГО И АВСТРАЛИЙСКОГО ЩИТОВ

*Рассмотрены геолого-структурные особенности и условия локализации месторождений Канады и Австралии, сделаны выводы о генетическом различии объектов, влияющих на методологию их выявления. Осуществлен сравнительный анализ месторождений и выделены их основные особенности в целях повышения результативности поисков аналогов на территории России. Источником фактических данных послужили публикации зарубежных и отечественных исследователей. **Ключевые слова:** месторождения урана, структурно-стратиграфические несогласия (ССН), условия локализации и морфология руд, структурный контроль оруденения, гидротермальные изменения пород, минеральный и вещественный состав руд, тектономагматическая активизация (ТМА).*

Mashkovtsev G.A., Miguta A.K., Schetochkin V.N.  
(VIMS)

## URANIUM DEPOSITS «DISAGREEMENT» OF CANADIAN AND AUSTRALIAN SHIELDS

*The geological and structural features and conditions of localization of deposits in Canada and Australia are considered, conclusions are made about the genetic difference between objects that affect the methodology for their identification. A comparative analysis of the deposits was carried out and their main features were identified in order to increase the effectiveness of the search for analogues in Russia. The source of evidence was the publication of foreign and domestic researchers. **Keywords:** uranium deposits, structural-stratigraphic disagreements (SSN), localization conditions and morphology of ores, structural control of mineralization, hydrothermal rock changes, mineral and material composition of ores, tectonomagmatic activation (TMA).*

Урановые месторождения древних структурно-стратиграфических несогласий занимают второе место по инвестиционной привлекательности вслед за объектами в песчаниках, что связано главным обра-

зом с их крупными масштабами и высокими содержаниями урана в рудах. К этому классу месторождений относятся объекты двух групп: канадской и австралийской. Первая включает месторождения гигантской тафrogenной структуры Атабаска, выполненной верхне-среднепротерозойскими песчаниками и наложенной на нижнепротерозой-архейский комплекс Канадского щита, вторая объединяет крупные месторождения среднепротерозойской геосинклинальной формации Пайн-Крик Северной Австралии.

Несмотря на принадлежность к одному классу ССН, месторождения канадского и австралийского типов имеют целый ряд различий, что нашло отражение в многочисленных публикациях с противоречивыми положениями как по генезису, так и по способу их выявления. В статье делается попытка выделить основные черты их сходства и различия с целью выработки наиболее объективных подходов к поискам аналогов таких месторождений на территории России.

### *Урановые месторождения «несогласия» канадского типа*

Основной урановорудный потенциал южной части Канадского щита связан с впадиной Атабаска и включает объекты трех промышленных типов — пегматитового, жильного и «несогласий». Месторождения первых двух типов сформированы в раннепротерозойскую эпоху, тяготеют к северному борту впадины и сосредоточены в районах Биверлодж и Шарлебуа. Они имеют незначительные масштабы и сравнительно невысокое (порядка 0,2 %) качество руд и в настоящее время не разрабатываются. Месторождения ССН располагаются непосредственно в пределах впадины Атабаска и представляют основу урановорудного потенциала Канады, который в настоящее время активно осваивается. Всего здесь выявлено 85 объектов с запасами более 1 тыс. т (рис. 1).

В геологическом строении впадины выделяются два крупных структурных этажа — древнее архей-протерозойское основание и среднепротерозойский осадочный чехол. Кристаллический фундамент сложен глубокометаморфизованным комплексом пород — от гранулитов до зеленосланцевых формаций, центральную и восточную часть региона занимает зона Кри-Лейк, к которой приурочены основные, в том числе наиболее крупные месторождения провинции. В формационном составе зоны доминируют разнотипные, в том числе графитсодержащие

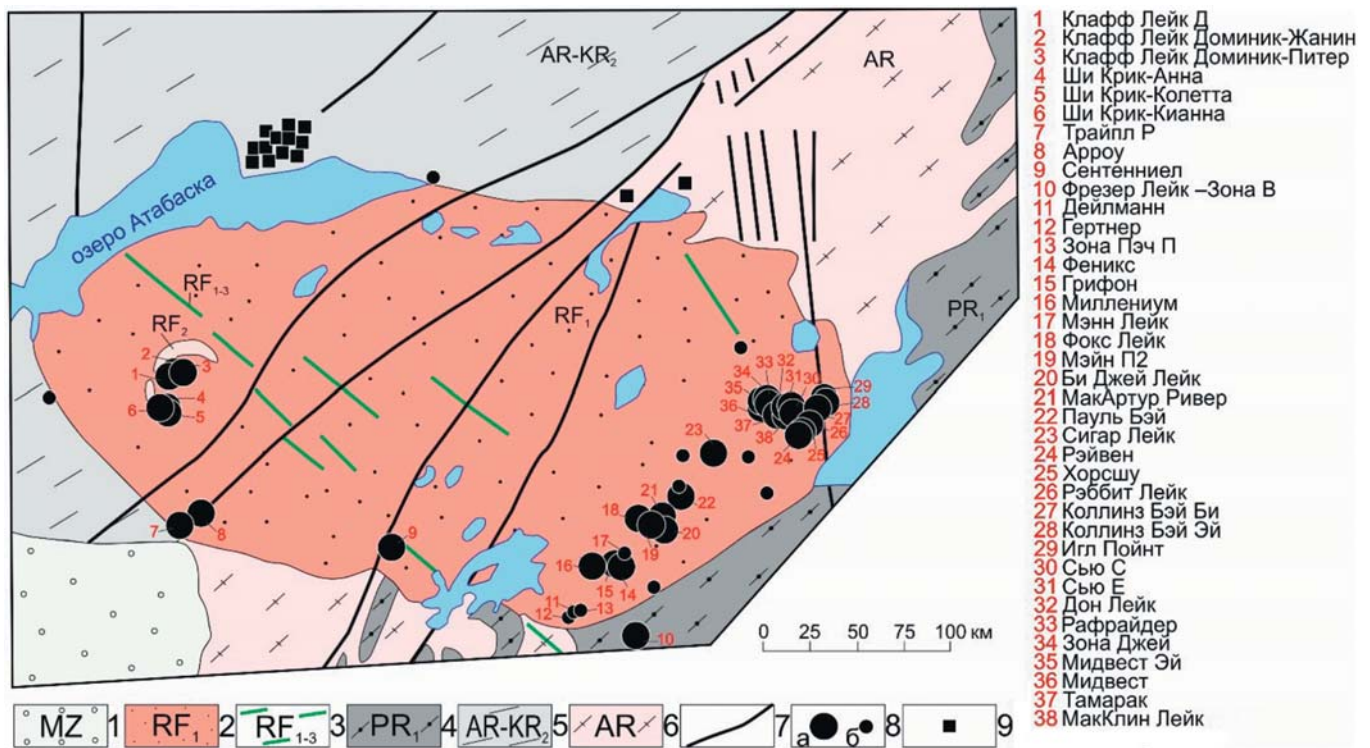
сланцы, мрамора, гнейсы, амфиболиты, гранито-гнейсы и пегматиты, в связи с которыми проявлен калиевый и натровый метасоматоз, часто с повышенными содержаниями — до 0,00n % урана. Складчатые системы архей-протерозойского основания и разделяющие их глубинные разломы древнего заложения имеют северо-восточную ориентировку, соответствующую простиранию макроструктуры южной части Канадского щита.

Тафрогенная среднепротерозойская структура Атабаска, имеющая форму гигантского овала с размерами 150 × 220 км, ориентирована длинной осью в субширотных румбах и в целом отвечает кардинальной геотектонической перестройке региона в раннем рифее. Впадина сложена преимущественно песчаными слаболитифицированными аллювиальными образованиями, мощность которых варьирует в широком диапазоне, достигая в центральной части депрессии 1500 м. По палеорекострукциям канадских геологов первоначальная мощность осадочного комплекса достигала 3000 м и лишь позднее, в том числе в

фанерозойскую эпоху орогенеза, была существенно сокращена за счет длительной эрозии. В основании осадочной толщи в породах ее кристаллического основания выделяется кора выветривания (реголиты) мощностью от 0 до 70–80 м, представленная глинисто-сланцевыми каолинит-монтмориллонитовыми образованиями. Возраст отложений датируется величинами 1400–1600 млн лет. В осадочной толще проявлены тектонические нарушения различной ориентировки с амплитудой субвертикальных перемещений от первых до сотен метров. С тектоническими зонами северо-западного простирания связаны многочисленные дайки диабазов возраста 1100–1300 млн лет, широко распространенные по площади депрессии [17].

Время рудообразования для отдельных месторождений различно, но для провинции в целом оно отвечает ранне-позднерифейскому времени, охватывая периоды от первоначального формирования оруденения до многочисленных его преобразований.

Основной урановорудный потенциал провинции сосредоточен в восточной части впадины, где распо-



**Рис. 1. Схематическая геологическая карта урановорудной провинции Атабаска (Составлено с использованием материалов Natural Resources Canada; World Distribution of uranium deposits):** 1 — мезозой; 2 — песчаники группы Атабаска; 3 — дайки диабазов; 4 — гнейсы домена Волластон; 5 — гнейсы и гранито-гнейсы провинции Рае; 6 — гнейсы провинции Херн; 7 — разрывные нарушения; 8 — месторождения (а) и рудопроявления (б) урана типа «несогласия»: 1 — Клафф Лейк Д, 2 — Клафф Лейк Доминик-Жанин, 3 — Клафф Лейк Доминик-Питер, 4 — Ши Крик-Анна, 5 — Ши Крик-Колетта, 6 — Ши Крик-Кианна, 7 — Трайпл Р, 8 — Арроу, 9 — Сентенниел, 10 — Фрезер Лейк — Зона В, 11 — Дейлманн, 12 — Гертнер, 13 — Зона Пэч П, 14 — Феникс, 15 — Грифон, 16 — Миллениум, 17 — Мэнн Лейк, 18 — Фокс Лейк, 19 — Мэйн П2, 20 — Би Джей Лейк, 21 — МакАртур Ривер, 22 — Пауль Бэй, 23 — Сигар Лейк, 24 — Рэйвен, 25 — Хоршшу, 26 — Рэббит Лейк, 27 — Коллинз Бэй Би, 28 — Коллинз Бэй Эй, 29 — Игл Пойнт, 30 — Сью С, 31 — Сью Е, 32 — Дон Лейк, 33 — Рафрайдер, 34 — Зона Джей, 35 — Мидвест Эй, 36 — Мидвест, 37 — Тамарак, 38 — МакКлин Лейк; 9 — урановые объекты другого геолого-промышленного типа

лагаются крупные месторождения МакАртур, Сигар Лейк, Ки-Лейк, Игл Пойнт, Рэббит Лейк, Милленум, западнее выявлены месторождения Арроу и ряд других; в западной части впадины размещается район Клафф Лейк с группой мелких объектов. По некоторым оценкам суммарные запасы урана приближаются к миллиону тонн. Ниже приводится краткая характеристика ведущих месторождений, при подготовке которой использованы монографические издания МАГАТЭ [25], компании Cameca [12], монографии и статьи отечественных [3, 4, 8, 9, 10, 11] и канадских геологов.

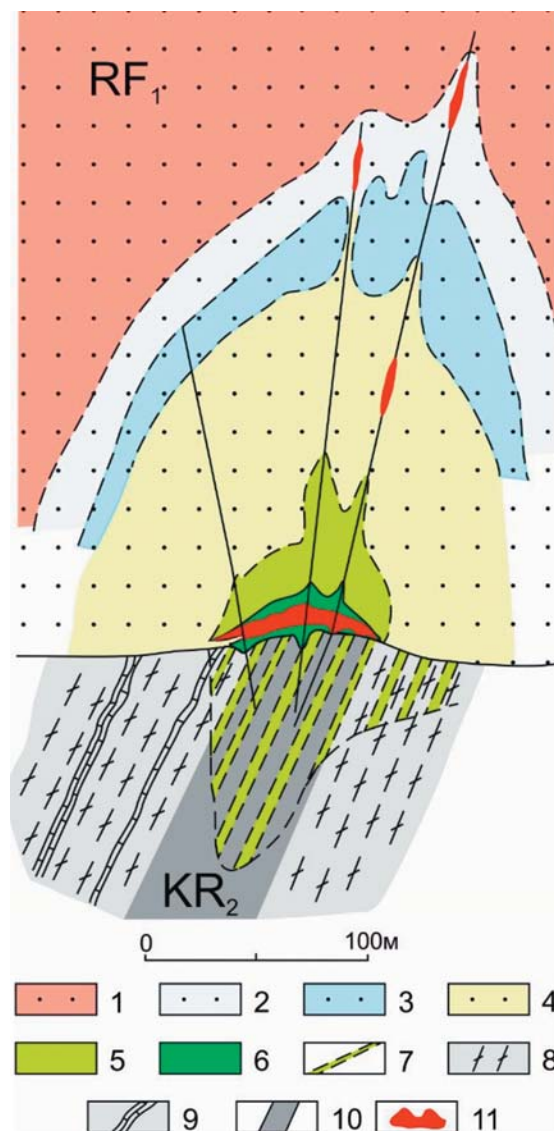
*Месторождение Сигар Лейк* (рис. 2) залегает на глубинах 410–450 м в основании осадочного чехла в виде уплощенного сигарообразного тела длиной около 2000 м, мощностью от 5 до 13 м (в среднем около 8 м) и шириной от 40 до 100 м. Запасы урана составляют 82,8 тыс. т при среднем содержании металла 13,5 %. Кристаллический фундамент сложен гетерогенными глубоко метаморфизованными породами архей-раннепротерозойского комплекса — метааркозы, биотит-пелитовые и углеродсодержащие сланцы и др. В верхней части основания установлена древняя кора выветривания — пестроцветные реголиты, мощностью от 0 до 80 м. Рудовмещающие отложения формации Атабаска — аллювиальные первично пестроцветные слаболитифицированные песчаники и гравийно-галечные породы.

Оруденение, залегающее в основном в песчаниках непосредственно в зоне ССН, контролируется малоамплитудной тектоникой с субвертикальными перемещениями (первые десятки метров). Тектонические нарушения, ориентированные в субширотных и северо-западных направлениях, сопровождаются интенсивным брекчированием.

Богатые руды в песчаниках имеют массивный, гнездовой характер; оруденение в фундаменте — жилообразные тела, которые строго подчиняются положению рудоконтролирующих тектонических нарушений. Собственно урановое оруденение представлено главным образом уранинитом и урановой смолкой, коффинит составляет менее 3 %. Наряду с ураном в рудах установлены повышенные концентрации никеля, кобальта, меди, молибдена, свинца, цинка и мышьяка. Минеральный агрегат богатых руд представляет собой ассоциацию первичных кварца и глинистых минералов, и наложенных в результате рудообразования окислов и силикатов урана, рудообразующего гематита и хлорита.

Околорудные изменения контрастно выражены в песчаниках и в породах фундамента, образуя ореол шириной 200 м, высотой 250 м в осадках и глубиной до 100 м в кристаллических породах [7, 12]. В отложе-

ниях осадочного чехла выделяются от ядра к периферии следующие зоны: зона интенсивной иллитизации и хлоритизации пород с разложением до глиен терригенных минералов, зона вторичного окварцевания, зоны осветления и сульфидизации первично-пестроцветных пород (рис. 2). В каждой зоне последовательно снижается содержание урана, однако во внешней части зональности все-таки установлено повышение его концентрации до 0,00n-0,000n %. В контуре изме-



**Рис. 2. Геологический разрез месторождения Сигар Лейк (Uranium Group Field Trip Saskatchewan, Canada, August 21–23, 2010. Uranium 2009: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. NEA, №6891, 2010):** 1 — розовые неизмененные песчаники (RF1); 2 — сероцветные изменения; 3 — вторичное окварцевание; 4–5 — сероцветные изменения и глинизация; 6 — массивные глины; 7 — зона околорудных изменений в фундаменте; 8 — метапелиты; 9 — кальций-силикатные породы; 10 — графитосодержащие метапелиты; 11 — рудные залежи

ненных пород отсутствуют проявления эпигенетической лимонизации.

По минеральному составу зон околорудных преобразований, имеющих сугубо восстановительный характер, концентричному строению зональности, в ядре которой выделяется контрастное урановое оруденение с сульфидами и хлоритом, проявленный комплекс минеральных преобразований, наложенных на первично пестроцветные осадочные породы, полностью отвечает околорудной зональности детально изученных гидротермальных урановых месторождений Евразии.

На месторождении в вакуолях эпигенетического кварца установлены высокие концентрации рассолов-хлоридов натрия, магния, кальция, температуры образования которых более 140–200 °С и давления порядка 600 бар [24, 26].

Крупнейшее урановое *месторождение МакАртур* располагает запасами 192 тыс. т металла со средним содержанием 22 %. Оруденение в виде неправильной удлиненной линзы размещается в зоне ССН на глубинах около 500 м в породах осадочного чехла и кристаллического фундамента. Первые представлены песчаными и гравийно-галечными отложениями формации Атабаска, вторые — кварцитами, разнотипными гнейсами и сланцами, в том числе графитоносными. Важнейшим элементом рудоконтроля является надвиг, по которому породы основания надвинуты на отложения осадочного чехла на десятки метров. Урановое оруденение локализуется под надвиговой структурой и непосредственно контролируется зонами интенсивной трещиноватости и брекчирования. Главный урановый минерал руд — уранинит, с которым ассоциируют галенит, пирит, халькопирит и золото, а из нерудных — хлорит.

Околорудные изменения рудовмещающих осадочных пород имеют тот же состав и строение, что и на месторождении Сигар Лейк [13]. Внутреннюю, непосредственно сопровождающую оруденение, часть зональности в песчаниках слагает интенсивная магниевая хлоритизация (судоит) и силицитизация, сменяющиеся выше по разрезу иллитизацией. В наиболее проницаемых разностях пород, а также по тектоническим трещинам установлена каолинизация. Концентрично выраженная рудосопровождающая минералого-геохимическая зональность охватывает огромный объем песчаных отложений формации Атабаска (до 500 м в поперечнике). В породах фундамента изменения выражены контрастным проявлением хлоритизации и дравитизации, непосредственно сопровождающими оруденение в тектонических зонах брекчирования. Таким образом, по составу, строению минералого-геохимической зональности и масшта-

бу ее проявления в осадочной толще следует вывод о весьма интенсивном проявлении гидротермального рудообразующего процесса.

*Месторождение Ку-Лейк* [7, 18] также обладает весьма крупными запасами урана — 74 тыс. т при среднем содержании металла 2 %. Оно образовано двумя залежами, пространственно связанными с интенсивно брекчированными породами осадочного чехла и фундамента в зоне проявления надвига северо-восточной ориентировки с амплитудой смещения 30–50 м. Верхняя часть рудной зоны размещается в песчаниках и практически выходит на поверхность, нижняя — прослеживается по системе тектонических трещин в фундаменте до глубины 150 м от ССН. При этом углеродистые сланцы не несут урановой минерализации. Главные урановые рудные минералы — настуран, коффинит; среди других установлены герсдорфит, никелин, миллерит, раммельсбергит, с которыми связаны высокие содержания в рудах никеля, достигающие 2,5 %. Уран-никелевое оруденение контролируется областью интенсивного проявления гидротермальных хлорит-иллитовых преобразований рудовмещающих пород.

*Месторождение Миллениум*, также расположенное в юго-восточной части провинции, располагает запасами урана 29,2 тыс. т при содержании металла 2,03 %. Оруденение целиком локализуется в породах кристаллического фундамента — в гранитах, гнейсах, пегматитах, сланцах, в том числе графитистых, и контролируется тектоническими зонами с интенсивным брекчированием. Протяженность рудной зоны в плане около 300 м, на глубину до 550 м, основным рудным минералом является уранинит, заполняющий полости брекчии. Рудное ядро минералого-геохимической зональности сложено уранинит-хлорит-гематитовым агрегатом, к периферии сменяется иллитизацией и дравитизацией.

*Месторождение Раббит Лейк*, расположенное в самой восточной части провинции Атабаска, обладает сравнительно скромными запасами урана — 15,8 тыс. т, при среднем содержании металла 0,27 %. Оно в виде крупного гнездообразного рудного тела локализовано в интенсивно брекчированных трещиноватых породах фундамента — метааркозах, плагиогранитах, доломитах и других, и в фанерозойское время вскрыто эрозией. Урановые минералы — настуран и коффинит, другие рудные — сульфиды железа, никеля, кобальта, свинца. Оруденение сопровождается интенсивной хлоритизацией и гематитизацией; в фанерозойский период в связи с наложением эрозионных процессов в рудах проявилась минерализация зон окисления — гетит, гидрогетит, лимонит и др. [7, 17].

Кроме рассмотренных объектов в пределах впадины Атабаска известен ряд других месторождений урана — МакКлин, Мидвест, Игл Пойнт, Феникс, Грифон, Арроу и другие, локализованные главным образом в породах ее основания, а также месторождение Сью и другие, залежи которых, тяготея к ССН, охватывают одновременно и песчаники, и кристаллические образования. В западной части депрессии располагается уникальный по своему геологическому строению район Клафф Лейк, объекты которого находятся в пределах кольцевой структуры Карсуэл, где покров песчаников отсутствует. Мелкие (первые тыс. т) рудные объекты локализованы в породах фундамента, которые за счет восходящих движений в палеозое в настоящее время занимают гипсометрически более высокое положение в геологическом разрезе. Однако основные черты геологического строения этих объектов — приуроченность к ССН, контроль оруденения малоамплитудными тектоническими нарушениями и областями развития хлорит-гидрослюдистых (иллитовых) преобразований пород, достаточно типичны.

*Подводя итог* рассмотрения основных урановорудных объектов провинции Атабаска, следует остановиться на некоторых их общих особенностях, которые определяют условия локализации и методику проведения геологоразведочных работ.

1. Рассмотренные и ряд других месторождений впадины Атабаска, несмотря на различную геолого-структурную позицию (в осадочном чехле, непосредственно в зоне ССН или в фундаменте), имеют четкую геолого-генетическую связь с зоной структурно-стратиграфического несогласия между древним раннепротерозойским фундаментом и рифейским осадочным чехлом. Они сформировались в эпоху тафрогенной активизации депрессии, проявленной образованием широко распространенных даек основного состава. Оруденение, как правило, контролируется малоамплитудными, часто активизированными древними тектоническими нарушениями взбросо-надвигового характера, проявленными в рифейскую эпоху в чехле и фундаменте хорошо проницаемыми открытыми трещинами и зонами брекчирования. На большинстве объектов установлена пространственная связь оруденения с углеродистыми сланцами в фундаменте, однако прямой их контакт отсутствует. Крупнейшие месторождения с наиболее богатыми урановыми рудами (до 10–20 %) располагаются в юго-восточной части провинции, где они тяготеют к крупным гранитогнейсовым куполам кристаллического основания с повышенными (до 0,00n %) фоновыми концентрациями урана [7, 18]. Подобная пространственно-генетическая связь установлена для

крупных районов Евразии и Южной Америки с урановыми жильно-штокверковыми месторождениями.

2. Минеральный состав руд месторождений в осадочном чехле, фундаменте и в зоне ССН практически идентичен — главными урановыми минералами являются уранинит и настуран при подчиненной роли коффинита. В рудах присутствуют сульфиды никеля, кобальта, свинца, меди, железа. На отдельных месторождениях компонентный состав руд близок пятиэлементной формации гидротермальных месторождений Рудных гор. Минеральный парагенезис в рудах на объектах провинции характеризуется ассоциацией оксидов урана, гематита и хлорита, что также типично для большинства эндогенных месторождений Евразии.

3. Урановорудный парагенезис является ядром концентрично проявленной минералого-геохимической зональности, которая включает последовательно сменяющие друг друга хлоритизацию, иллитизацию, окварцевание и сульфидизацию первично пестроцветных рудовмещающих песчаников и частично пород кристаллического основания. При этом эпигенетическая минерализация окислительного характера (лимонитизация, гетитизация) не установлена. Исключением является месторождение Раббит Лейк, расположенное в восточном крыле впадины Атабаска и выведенное в ходе палеозойского орогенеза в зону эрозии и интенсивного окисления. Наиболее полно зональность установлена на месторождении Сигар Лейк, ее отдельные элементы выявляются на рассмотренных выше месторождениях МакАртур, Миллениум, Ки-Лейк, Раббит Лейк и ряде других объектов провинции — МакКлин, Мидвест, Игл Пойнт и др. Особенно отчетливо пространственно-генетическая связь оруденения и ореолов гидротермальных изменений, по данным канадских геологов, проявлена на крупных месторождениях провинции [26]. По восстановительному характеру минеральных агрегатов зональности, наложенных на первично окисленные пестроцветные песчаные отложения, последовательности проявлений зон и положению оруденения в ядерной части она полностью отвечает гидротермальным изменениям, установленным на большинстве эндогенных жильно-штокверковых урановых месторождений Евразии и Южной Америки. О гидротермальной природе околорудных изменений свидетельствуют также данные термобарогеохимического изучения газово-жидких включений в новообразованных минералах зональности.

Происхождение восходящих растворов восстановительного характера рассматривается исследователями по-разному. Г.В. Пакульнис, М.В. Шумилин [3], обобщившие огромный объем материалов по

геологии месторождений провинции Атабаска, делают вывод о проявлении в гренвилевскую эпоху ТМА активной гидротермальной деятельности, в том числе имевшей урановую специализацию, особенно в восточной части с сосредоточенными в кристаллическом основании гранитогнейсовыми куполами с повышенными концентрациями урана. М. Кюнэ и другие предусматривали возможность развития механизма рециклинга, т.е. поступления сингенетических и инфильтрационных вод по разломам в породы фундамента с последующим их восстановлением и нагревом на глубине и формированием восходящих гидротермальных растворов. Весьма вероятным внутрикорковым источником растворов А.И. Резанов [9] считает проявление в условиях ТМА процессов дегидратации серпентинитов с высвобождением больших объемов хлоридных агрессивных растворов.

Таким образом, совокупность приведенных геолого-структурных и минералого-геохимических данных, по нашему мнению, является достоверным свидетельством гидротермального происхождения урановых месторождений типа «несогласия» в соответствии со следующей *геолого-генетической моделью*.

В эпоху проявления в пределах впадины Атабаска рифейской ТМА, рифтогенный характер которой подчеркивается развитием дайкообразования, произошла активизация с раскрытием древних и формированием новых тектонических нарушений открытого типа, что в целом обеспечило масштабное проявление гидротермальной деятельности. Восходящие нагретые растворы глубинного происхождения имели агрессивный углекисло-хлоридный состав, способствовавший активной мобилизации урана и сопутствующих компонентов из гранитогнейсовых породных комплексов и их транспортировку в виде концентрированных растворов к зонам ССН по системам открытых, выполненных брекчиями нарушений. Зона несогласия между «плотным» кристаллическим фундаментом и «пористым» хорошо водопроницаемым осадочным чехлом служила для рудоносных растворов комплексным барьером, на котором резко снижались скорость их движения, давление и температура, приводившие к рудоотложению в зоне ССН. В случае формирования крупных открытых трещинных полостей в породах фундамента рудообразование происходило непосредственно в них, не достигая барьерной зоны «несогласия», но в некоторых случаях подобные благоприятные структуры-ловушки возникали лишь в песчаниках, выше ССН, и тогда именно там происходило образование рудных скоплений.

Процесс гидротермального рудообразования сопровождался интенсивнейшим изменением вмещающих пород с разложением до вторичных глиен тер-

ригенных минералов песчаников и метаморфических пород фундамента, их объемной хлоритизацией, окварцеванием и осветлением (сульфидизацией) первичных пестроцветных песчаников. При этом формировались масштабные ( $n \cdot 100$  м), сужающиеся кверху области изменения пород в песчаниках и выклинивающиеся на глубину в породах основания. Ореолы изменения пород, часто сопровождающиеся повышенной радиоактивностью, используются при поисках и оценке месторождений.

Подобные околорудные преобразования вмещающих пород установлены и детально изучены на ряде гидротермальных жильных и жильно-штокверковых урановых объектов Евразии, для которых многолетними комплексными исследованиями объективно доказано эндогенное происхождение. В их числе: месторождения Пршибрам, Нидершлема-Альберода, Шмирхау и другие — Чешский средний массив, месторождения Стрельцовского рудного поля — Забайкальская провинция, месторождения Косачиное, Грачевское, Камышевое и другие — Кокчетавский срединный массив и другие районы.

Важнейшей особенностью урановых месторождений «несогласия» канадского типа, как известно, являются уникально высокие концентрации урана в рудах, что, по мнению авторов, связано со следующими условиями рудообразования.

Термобарогеохимическими исследованиями, проведенными в 104 флюидных включениях в кварцах месторождений МакАртур Ривер, Игл Пойнт, Раббит Лейк и других установлены высокие концентрации растворенного урана от  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$  г/л, хлоридный состав рассолов с рН раствора 2,5–4,0 и  $T = 200$  °С [11, 13, 24, 26]. По мнению канадских исследователей, именно растворы с подобными параметрами, существенно отличающимися от водонасыщенной среды в песчаниках, могли быть формирующими богатое оружие. Эти выводы полностью согласуются с теоретическими и экспериментальными разработками К.Г. Королева [1], убедительно свидетельствующими об агрессивности глубинных нагретых (до 400 °С и более) рассолов, способных мобилизовать уран и сопутствующие компоненты из специализированных гранитогнейсовых формаций. Транспортировка урана была возможна в четырехвалентной форме или в шестивалентной в виде уранил-хлорида высококонцентрированными растворами по тектоническим нарушениям с конечным контрастным рудоотложением оксидов урана в области ССН. Вероятно, подобные растворы рассольного типа, фильтруясь по системам трещин через габброиды, также локализованные в кристаллическом фундаменте восточной части впадины Атабаска, могли обогащаться кобальтом, никелем

и другими халькофильными элементами и формировать в зоне ССН комплексное уран-полиэлементное оруденение, установленное на многих месторождениях провинции.

Повышению контрастности рудонакопления, возможно, способствовали также природные гальванические системы с катодным полюсом в основании пестроцветных песчаников рифея и анодным, представленным породами фундамента, особенно в участках развития электропроводящих углеродистых сланцев. Влияние природных гальванических эффектов на урановый рудогенез детально рассмотрено в монографии Я.М. Кислякова, В.Н. Щеточкина применительно к фанерозойским ураноносным депрессионным структурам [2]. Разность потенциалов, возникающая в природных гальванических системах, создает дополнительные предпосылки к контрастному рудонакоплению с участием компонентов в катодных и анодных реакциях под воздействием возникающего электрического тока. Активное рудообразование в зоне ССН и вблизи нее определялось также условиями смещения и взаимодействия на этих участках концентрированных ураноносных гидротерм с восстановительными рудоосаждающими растворами.

Наконец немаловажным фактором формирования богатых руд является, безусловно, колоссальная длительность и многоэтапность процесса накопления урана на предельно локальных участках недр, сохранявших устойчивое положение в геологическом пространстве в течение сотен тысяч и миллионов лет [6].

Однако в последние десятилетия все более популярными среди зарубежных и отечественных исследователей становятся *экзогенные модели формирования месторождений* провинции Атабаска, предусматривающие в качестве источника урана ресурсы осадочной толщи, с транспортировкой урана окислительными водами к разрывным нарушениям с восходящими восстановительными растворами, где он и высаживался с формированием контрастного оруденения. Во-первых, возможные источники урана — монацит и циркон, содержатся в песчаниках Атабаски в ничтожном количестве [14]. Во-вторых, их обломочные зерна за сотни миллионов лет участвовали в самых разнообразных процессах гипергенеза — от корообразующих до аллювиальных и диагенетических, и все, что возможно было выщелочить из них в экзогенных условиях, в том числе уран и торий, было извлечено и рассеяно. Поэтому их участие в качестве масштабного источника урана при формировании месторождений ССН маловероятно. Кроме того, по имеющимся данным в бассейне Атабаска, по-видимому, не проявлялась (и не проявляется в настоящее время) инфильтрационная деятельность кислородсодержащих

подземных вод, которая является важнейшим фактором транспортировки и накопления урана в процессе экзогенно-эпигенетического рудообразования. Об этом свидетельствует отсутствие фактов наложения эпигенетического окисления на околорудные ореолы с восстановительной, в том числе сульфидной минерализацией. В экзогенной концепции рудообразования не учитывается также какая-либо роль собственно структурно-стратиграфического несогласия, которое служит важнейшим фактором гидротермальной модели.

Таким образом, вслед за Н.П. Лаверовым [3], Г.В. Пакульнисом, М.В. Шумилиным [7], А.В. Тархановым [10] и многими другими исследователями авторы придерживаются эндогенной модели формирования месторождений «несогласия» канадского типа, которую следует учитывать при их прогнозе и поисках.

#### *Урановые месторождения «несогласия» австралийского типа*

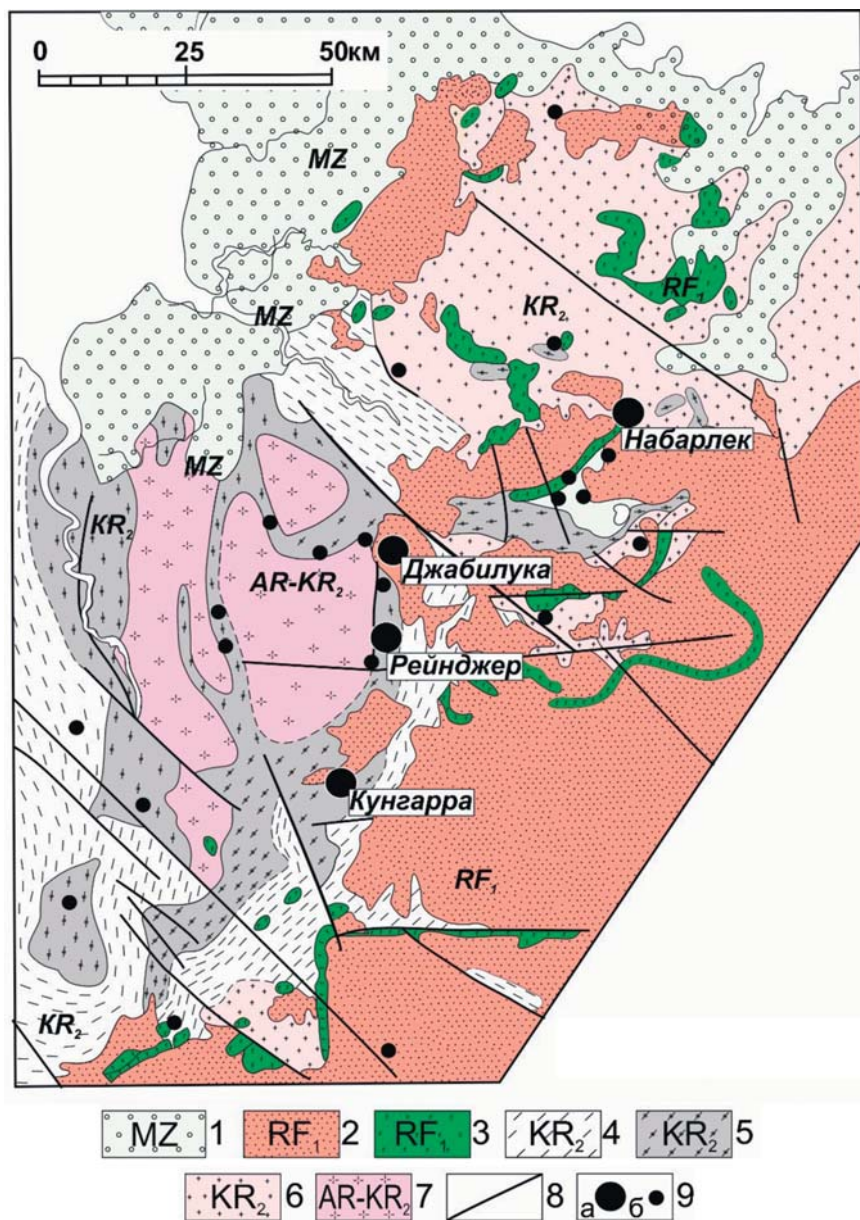
Австралия так же, как и Канада, является одним из мировых лидеров по запасам и производству урана. Она располагает значительным числом эндогенных и экзогенных, в том числе крупных месторождений различных геолого-промышленных типов. В их числе гигантское комплексное (Cu, Au, U) осваиваемое месторождение континента Олимпик-Дам в структурах обрушения, запасы урана на котором составляют около 1,8 млн т при весьма низких содержаниях металла — 0,03 %, скарновое Мэри-Кэтлин, жильные — Андерсон-Лоуд, Скал и другие, пегматитовое Радиум-Хилл, стратиформные в осадочных породах — Биверли, крупный объект в современных калькретах Ийлири и др. Наиболее крупные запасы урана сосредоточены в месторождениях типа «несогласий» — Рейнджер, Джабилука, Набарлек и Кунгарра. Месторождения расположены в северо-восточной части континента (рис. 3). В геотектоническом отношении они принадлежат геосинклинали Пайн-Крик. Месторождения Рейнджер, Джабилука и Кунгарра размещаются на восточном склоне выступа древнего архей-раннепротерозойского фундамента — купола Нанамбу, локализуясь исключительно в глубоко метаморфизованных отложениях нижнепротерозойской формации Кэхил. Все три объекта образуют крупную металлогеническую зону субмеридиальной ориентировки — район Аллигейтор Риверс. К северо-востоку от них, на склоне поднятия Нимбуванг размещалось небольшое по масштабам и давно отработанное месторождение Набарлек. Рудовмещающий комплекс пород и древний купол Нанамбу со структурно-стратиграфическим несогласием перекрыт мощной толщей континентальных, преимущественно песчаных

литифицированных аллювиальных верхнепротерозойских отложений формации Комболджи, во многом сходной с формацией Атабаска в Канаде.

Ниже приводится краткая характеристика геологического строения района Аллигейтор Риверс и его месторождений, использующая в основном данные [4, 10, 20, 21, 22]. Кристаллическое основание геосинклинального комплекса сложено верхнеархейскими (2500 млн л) интрузивными и метаморфическими породами, включающими кристаллические сланцы, гнейсы, гранитогнейсы, амфиболиты, разнотипные, в том числе лейкократовые, граниты. Гранитоиды часто содержат повышенные концентрации урана (до 0,005 %) и непосредственно уранинит, которые связываются с проявлением древнего кремне-калиевого метасоматоза и могут являться возможным источником урана при формировании месторождений типа «несогласия».

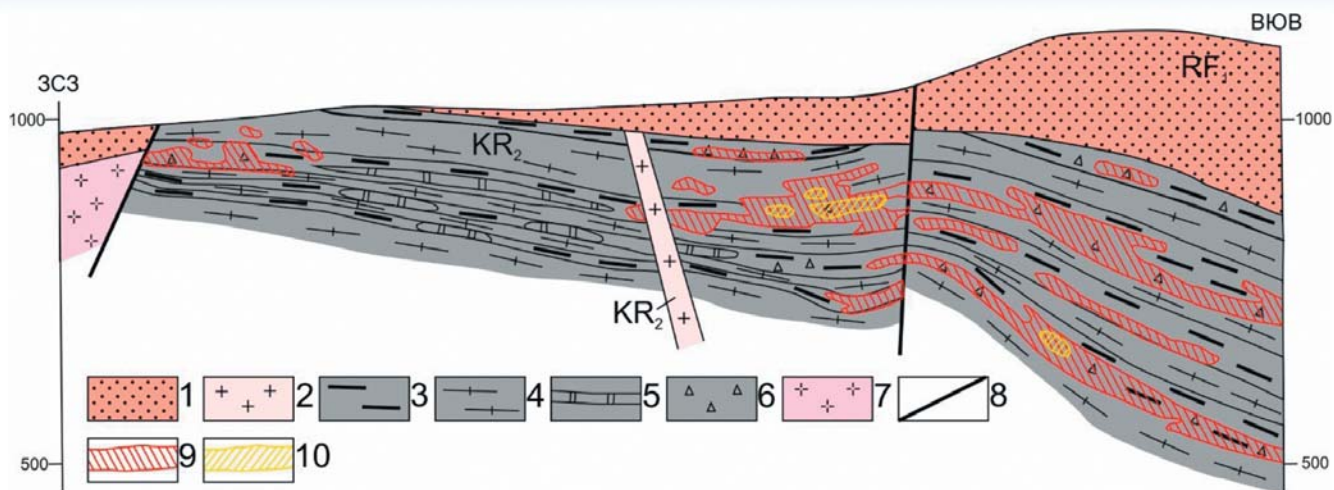
Раннепротерозойские отложения (2400–1870 млн лет) включают сложный комплекс первично-осадочных пород — глин, алевролитов, часто углеродсодержащих, преобразованных впоследствии в сланцы. Важную роль в строении геосинклинальной толщи играют вулканиты преимущественно основного состава. Вулкано-осадочная толща впоследствии претерпела складкообразование и метаморфизм зеленосланцевой стадии с объемным проявлением хлоритизации. Средне-верхнепротерозойский платформенный чехол — формация Комболджи, сложен пестроцветными аллювиальными песчаниками с прослоями конгломератов и гравелитов с андезитами, базальтами, а также разнотипными туфогенными отложениями. Мощность протерозойской части осадочно-вулканогенной толщи составляет порядка 300–500 м. Породы кристаллического основания, геосинклинального и платформенного комплексов прорваны дайками преимущественно основного состава и нарушены сложной системой тектонических дислокаций пликативного и разрывного характера.

Следует отметить, что месторождения Рейнджер, Джабилука и Кунгарра, образующие меридионально ориентированный металлогенический пояс, во многом схожи и размещаются в породах нижних горизонтов формации Кэхил, месторождение Набарлек имеет ряд существенных отличий. Рудное поле Рейнджер включает два месторождения — Рейнджер-1 и Рейнджер-3, располагающиеся



**Рис. 3.** Схематическая геологическая карта урановорудного района Аллигейтор Риверс (1. Needham R.S., Ferguson T., Prichd C.E. Excursion Guide for the International Uranium Symposium on the Pine Creek geosyncline, Australia, Sydney, June 4–8. «Bur. Miner. Res. Geol. Geophys. Austral.», 1979; 2 Needham R.S., Crick I.H., Stuart-Smith P.G. Regional Geology of the Pine Creek geosyncline. Ferguson. J., Goleby A.B., eds. Uranium in the Pine Creek geosyncline. Vienna: IAEA. 1980, Proc. Ser., 1–22): 1 — мезозой; 2 — формация Камболджи; 3 — долериты Оэнпелли; 4 — группа Маунт-Партридж: алевролиты и сланцы; 5 — формации Мэсон и Кэхил; 6–7 мигматиты, гнейсы и гранитоиды комплексов Нимбуваг (6) и Нанамбу (7); 8 — разрывные нарушения; 9 — месторождения (а) и рудопроявления (б) урана





**Рис. 4. Геологический разрез через урановородное поле Джабилука (1 — Hegge M.R. Geologic setting and relevant exploration features of the Jabiluka uranium Deposits. «Proc. Australas., Inst. Minin; and Met.», 1977, 264, 19–32; 2 — Ewers G.R., Ferguson J., Needham R.S., Donnelly T.H. Pine Creek geosyncline, N.T., Ferguson, J., ed. Proterozoic unconformity and stratabound uranium deposits, Vienna: IAEA, 1984, 135–206): 1 — песчаники формации Комболджи; 2 — пегматиты; 3 — графитсодержащие хлоритовые и графитовые сланцы; 4 — мусковит-хлоритовые и хлоритовые сланцы; 5 — магнезит-доломитовые породы; 6 — полигенные кремнисто-хлоритовые брекчии; 7 — гнейсы комплекса Нанамбу; 8 — тектонические нарушения; 9 — урановые залежи; 10 — золотое оруденение**

в зоне контакта рудовмещающей толщи Кэхил с древними формациями купола Нанамбу. Месторождения выходят непосредственно на современную поверхность, так как породы формации Комболджи подверглись эрозии. Запасы урана составляют около 120 тыс. т при среднем содержании металла в рудах 0,24 %, которые в настоящее время активно осваиваются. Протяженность рудоносной полосы составляет около 3 км при ширине 300–400 м, мощность рудных зон варьирует от первых до сотен метров. Оруденение приурочено к формации Кэхил, которая на рудном поле представлена хлоритизированными кристаллическими и углеродсодержащими сланцами, а также мраморизованными доломитами и их хлоритизированными разностями, интродуцированными пегматитами и рассеченными многочисленными тектоническими нарушениями. Важным литолого-геохимическим фактором рудоконтроля являются углеродистые сланцы, которые и за пределами рудного контура имеют повышенные концентрации урана.

Урановая минерализация в виде тонкой вкрапленности широко распространена в хлоритизированных сланцах, более крупные скопления руд локализованы в участках структурных осложнений и в полостях брекчированных пород. В приповерхностной зоне окисления рудной толщи развита вторичная урановая минерализация. Рудовмещающие отложения повсеместно охвачены хлоритизацией, включая выше- и нижележащие безрудные породы, а также породы безурановых флангов.

*Месторождение Джабилука* представляет собой пологую пластовую залежь, разделенную в плане на два крупных тела — западное Джабилука-1 и восточное — Джабилука-2 (рис. 4). В разрезе рудовмещающей толщи выделяются два рудоносных горизонта, отстоящих друг от друга по вертикали на 50–60 м и связанных с пачками углеродистых хлоритизированных сланцев. Мощность рудных тел варьирует от 5 до 10 м, содержание урана — 0,3–0,5 % при среднем 0,44 %. Морфология рудных тел типично пластовая, что обусловлено генетической связью оруденения с углеродистыми сланцами. Их морфологические осложнения подчинены элементам складчатости сланцев. С флексурными перегибами, осложненными нередко повышенной тектонической трещиноватостью и брекчированием, часто связаны более богатые рудные скопления. Урановая минерализация — вкрапленность и тонкие прожилки настурана в хлоритизированных углеродистых сланцах. В повышенных концентрациях в рудах установлено золото. Верхняя часть моноклинально залегающего рудного тела Джабилука-1 срезается песчаниками формации Комболджи.

*Месторождение Кунгарра*, располагающееся в 40 км к югу от месторождения Рейнджер, обладает относительно небольшими запасами урана — 10 тыс. т со средним его содержанием в рудах — 1,4 % и локализуется в той же свите Кэхил, что и рассмотренные выше объекты. Рудовмещающая толща надвинута на песчаники формации Комболджи по разлому с угловым падением к юго-востоку 30–40°. Урановое оруденение имеет пластовый характер и контролируется

кварц-мусковит-хлоритовыми сланцами, мощность рудной залежи составляет 10–20 м. Урановая минерализация — настуран и уранинит, в виде тонкой вкрапленности локализована в сланцах. Приповерхностная часть рудного пласта преобразована в зоне поверхностного окисления в субгоризонтальный шлейф оруденения с вторичными урановыми минералами.

*Месторождение Набарлек*, отработанное в 1990-х годах, расположено в 40 км к востоку от месторождения Джабилука, на юго-западном склоне поднятия Нибуванг, сложенного древними, глубоко метаморфизованными породами архея. Запасы урана здесь составляли порядка 10 тыс. т при среднем содержании в рудах 1,3 %. В отличие от рассмотренных выше объектов морфология руд жилообразная, контролируется мощной зоной тектонического дробления и брекчирования, пересекающей под крутым углом разнотипные кварц-слюдистые, хлорит-слюдистые и хлоритовые сланцы нижнепротерозойской формации Колпин, в которых не установлена повышенная радиоактивность. Рудная зона, в пределах которой содержание урана изменяется от 0,1 до 10 %, сопровождается окolorудной хлоритизацией, гематизацией и окремнением, наложенными на ранее хлоритизированные вмещающие породы. В верхней приповерхностной части рудной зоны проявлены окислительные изменения, сопровождающиеся преобразованием первичных окислов урана во вторичные минералы уранила и формированием зоны цементации, в которой содержание металла достигает 20 %.

Приведенные краткие сведения о геологическом строении, морфологии и минеральном составе, литологических и геохимических особенностях рудовмещающих пород урановых месторождений района Аллигейтор Риверс позволяют сделать некоторые выводы.

1. Урановое оруденение крупных месторождений — Джабилука, Рейнджер и Кунгарра — имеет пластовый характер и связано с нижней частью формации Кэхил, содержащей в своем составе углеродистые низкорadioактивные сланцы, имеющие рудо-контролирующее значение. Морфология оруденения в основном подчиняется структуре их напластования, в том числе элементам пликативных осложнений.

2. Происхождение низкорadioактивных сланцев и первичных урановых концентраций, вероятно, связано с разрушением и переотложением кор выветривания ураноносных глубоко метаморфизованных пород поднятия Нанамбу в раннепротерозойское время.

При этом в ходе осадконакопления не исключается возможность проявления гидротермальных ураноносных растворов, заимствовавших металл из нижележащих, специализированных архейских формаций осно-

вания геосинклинали Пайн-Крик и отлагавших его в рудных концентрациях в формирующихся осадках, в том числе углеродсодержащих. Подобный гидротермально-осадочный механизм уранового рудообразования в вулканогенно-осадочных и осадочных формациях нами рассматривался применительно к стратиформным месторождениям юга Красноярского края, Южного Приаргунья, Восточной Монголии и штата Аризона (США) [5].

3. В последующем в результате метаморфизма образований формации Кэхил, сопровождающегося объемной хлоритизацией и окремнением, проявлением пликативных и дизъюнктивных нарушений и других процессов происходило перераспределение урана с формированием рудных пластовых тел, гнездовых скоплений и других морфологических образований. Однако принципиально ни масштабы, ни пластовый характер залежей не изменялись и не формировались жилоподобные промышленные скопления руд как в породах формации Кэхил, так и в песчаниках Комболджи.

4. Геолого-структурные условия формирования месторождения Набарлек кардинально отличаются от рассмотренных выше объектов и связаны с проявлением гидротермального процесса по тектонической зоне, секущей рудовмещающий комплекс Колпин. Урановое оруденение имеет жилообразный характер, концентрации металла варьируют в диапазоне от 0,2 до 20 %, вдоль продуктивной зоны развиты окolorудная хлоритизация, гематитизация, характерные для типично гидротермальных урановых месторождений Евразии.

5. Предшествующими детальными исследованиями на месторождениях района Аллигейтор Риверс не установлена их пространственно-генетическая связь с ССН.

Таким образом, комплекс изложенных данных позволяет вслед за предшественниками [3] сделать вывод о полигенном происхождении месторождений «несогласия» австралийского типа, которое предусматривает первичное накопление урана в углеродистых отложениях раннего протерозоя за счет его миграции при экзогенной переработке высокорadioактивных пород купола Нанамбу и возможного гидротермально-осадочного рудообразования с последующим масштабным перераспределением металла в ходе метаморфизма и объемной хлоритизации всего рудовмещающего комплекса.

#### **Заключение**

Подводя итог сравнительному рассмотрению урановых месторождений «несогласия» канадского и австралийского типов, следует сделать вывод о принципиальных различиях условий их образования и геолого-структурных обстановок локализации. Первые по существу являются типичными эндогенными объектами, сформированными высококонцентриро-

ванными углекисло-хлоридными гидротермальными растворами, вторые образовались в экзогенных условиях при разрушении высокорadioактивных пород кристаллического основания главным образом гранитов и гранитогнейсов, и последующим накоплению урана в углеродсодержащих отложениях зарождающейся геосинклинали. Формирование промышленных объектов происходило за счет многоэтапного проявления метаморфизма до зеленосланцевой фации, сопровождавшегося масштабной хлоритизацией и перераспределением первичных скоплений металла. Исключение представляет месторождение Набарлек, которое должно быть отнесено в генетическом отношении к гидротермальному классу.

Очевидно, что различия в генезисе и в условиях локализации месторождений «несогласия» канадского и австралийского типов должны учитываться при их прогнозе и поисках на территории России. Перспективы выявления месторождений канадского типа уже имеют подтверждение в Сибирском регионе. Здесь, в пределах протяженной металлогенической зоны южного обрамления Сибирской плиты, представленной гранитизированным и активизированным кристаллическим основанием древней платформы, ранее выявлен ряд небольших объектов этого типа — Столбовое, Ансах, Чепок и другие, и в настоящее время на отдельных площадях и участках проводятся поиски и планируется активное развитие прогнозных работ. Месторождения австралийского типа следует ожидать на склонах гранитогнейсовых структур с формациями высокорadioактивных пород, на которых установлены коры выветривания и другие проявления палеогипергенеза, и которые сопряжены в пространстве с геологическими формациями, обладающими высоким восстановительным потенциалом. Подобные обстановки известны на южном склоне Балтийского щита, в северной части Енисейского кряжа и на восточной окраине Алданского щита.

Очевидно, что установленные различия в условиях формирования и локализации месторождений «несогласия» канадского и австралийского типов следует учитывать при планировании и определении методики прогнозных и поисковых работ в рудоперспективных районах РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вольфсон, Ф.И. Условия формирования урановых месторождений / Ф.И. Вольфсон, К.Г. Королев. — М.: Недра, 1990.
2. Кисляков, Я.М. Гидрогенное рудообразование / Ф.И. Вольфсон, К.Г. Королев. — М.: Геоинформмарк, 2000.
3. Лаверов, Н.П. Зарубежные месторождения урана / Н.П. Лаверов, А.О. Смилкстын, М.В. Шумилин. — М.: Недра, 1983.
4. Лаверов, Н.П. Условия образования крупных полихронных месторождений урана (на примере Северной Австралии) / Н.П. Лаверов, А.О. Смилкстын, М.В. Шумилин. — М.: ВИНТИ, 1988.

5. Машковцев, Г.А. О гидротермально-осадочном образовании стратиформных урановых месторождений в фанерозойских депрессионных структурах / Сб. Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах / Г.А. Машковцев, А.В. Коченов, А.Е. Халдей. — М.: Наука, 1995. — С. 37–51.
6. Мигута, А.К. Историко-геологическая модель эндогенного уранового рудообразования / А.К. Мигута, И.С. Модников // Отечественная геология. — 1995. — № 1. — С. 28–35.
7. Пакульнис, Г.В. Месторождения типа «несогласия» района Атабаска (Канада) / Г.В. Пакульнис, М.В. Шумилин. — М.: 2005.
8. Пэк, А.А. Роль тепловой конвекции флюидов в формировании бассейна Атабаска (Канада) / А.А. Пэк, В.И. Мальковский // Геология рудных месторождений. — 2017. — Т. 59. — № 3. — С. 201–219.
9. Резанов, А.И. Эволюция представлений о земной коре / А.И. Резанов. — М.: Наука. — 2002.
10. Тарханов, А.В. Крупнейшие урановые месторождения мира / А.В. Тарханов, Е.П. Бугриева. — М.: Минеральное сырье, 2012.
11. Шумилин, М.В. Историческая металлогения урана (опыт глобального анализа) / М.В. Шумилин. — Иркутск, 2015.
12. Bishop, C.S. Cigar Lake operation, Northern Saskatchewan, Canada: National Instrument Technical Report, Cameco Corporation / C.S. Bishop, A.G. Mainville, L.D. Yesnik. — Saskatoon, 2016.
13. Cameco corporation, personal Communication, 2017.
14. Cuney, M. What parameters control the high grade large tonnage of the Proterozoic unconformity related uranium deposits? Uranium geochemistry, 2003, International conference, 2003. Nancy. Unconformity — related uranium deposit / M. Cuney, M. Brouand, M. Cathelinneau etc. — Vienna. — 2018. — P. 123–126.
15. Cuney, M. Evolution of uranium fractionation processes through time: driving the secular variation of uranium deposit types / M. Cuney // Econ. Geol. 105. — 2010. — P. 553–569.
16. Derome, D. Reconstitution of the, P, T, X characteristics of paleofluids in the MacArthur River inconformity — tape uranium deposit (Saskatchewan, Canada) / D. Derome, M. Cathelinneau, M. Cuney, C. Fabre // Uranium geochemistry, 2003. International conference, 2003. — Nancy. — P. 141–144.
17. Hoeve, J. On the origin of Rabbit Lake and other unconformity — type uranium deposits in northern Saskatchewan / J. Hoeve, T. Sibbald // Econ. Geol. — N 73. -1978. — P. 1450–1478.
18. Hohdorf, A. Age determination of Basement units in the Key Lake uranium deposits area, Saskatchewan, Canada, uranium Resources and Geology of North America. IAEA — TECDOC-500, IAEA, Vienna. — 1989. — P. 381–410 / A. Hohdorf, J.G. Strnad, C. Carl.
19. Kotzep, T.G. Petrogenesis Athabasca Basin, northern Saskatchewan, Canada and its relations to diagenesis, hydrothermal uranium mineralization and paleohydrogeology / T.G. Kotzep, T.K. Kyser // Chemical Geology. — 1995. — P. 120.
20. Maas, R. N-Sr isotopic constraints on the age and origin of unconformity — type uranium deposits in the Alligator Rivers uranium field, Northern Territory, Australia / R. Maas // Econ. Geol. 84. — 1989. — P. 6–90.
21. Neednam, R.S. Geology of the Alligator uranium field, Northern Territory, Australia, BMR Bull. 1988. — P. 284 / Neednam R.S.
22. Quirt, D. Kaolinite, dickite and other clay minerals in the Athabasca Group, Canada and the Combolgie Formation, Australia / D. Quirt, K.K. Wasyluk / 11th international Clay Conference. Ottawa. — 1997. — P. 121–125.
23. Percival, J.B. Clay Mineralogy, Geochemistry and Partitioning of Uranium within the Alteration Halo of the Cigar Lake Uranium Deposit, Saskatchewan, Canada / J.B. Percival / PhD Thesis, Carleton University, Ottawa, 1989.

24. Richard, A. Giant uranium deposits formed from exceptionally uranium-rich acidic brines / A. Richard, C. Rozsypal, J. Mercadier et.al. / *Nature* 5, 2012. — P. 142–146.

25. Sheahan, C. Combined ingress-egress model for the Kianna unconformity-related uranium deposit, Shea Creek project, Athabasca Basin, Canada / C. Sheahan, M. Fayek, D.A. Quirt // *Econ. Geol.* 111. — 2016. — P. 225–257.

26. *Unconformity-related uranium deposits*. Vienna, 2018. Series: IAEA TECDOC, no. 1857.

© Машковцев Г.А., Мигута А.К., Щеточкин В.Н., 2020

Машковцев Григорий Анатольевич // vims@df.ru

Мигута Анатолий Константинович // vims@df.ru

Щеточкин Валерий Николаевич // vims@df.ru

УДК 553.04; 553.41+553.496; 622.342+622.349.5; 622.7'1

**Тарханов А.В., Бугриева Е.П., Колпаков Г.А.,  
Казанцев В.В., Балакина И.Г. (АО «ВНИИХТ»),  
Смагин А.П. (АО «ВНИПИПТ»)**

**НОВЫЙ ТИП УРАН-ЗОЛОТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
В ЛИНЕЙНЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ДРЕВ-  
НИХ ЩИТАХ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
СЕВЕРНОЕ (АЛДАНСКИЙ ЩИТ, РЕСПУБЛИКА  
САХА (ЯКУТИЯ))**

*На месторождениях Эльконского рудного района, в том числе на месторождении Северное, выше первичных золотоурановых залежей установлена бедная U-Au минерализация, для которой разработана комплексная технология извлечения золота и урана способом кучного выщелачивания (КВ). Выделено два технологических сорта руд: золотосеребряные и золотосеребряные с повышенным содержанием урана. Из обоих сортов золото и серебро извлекаются цианированием, а из второго сорта после нейтрализации штабеля слабым сернокислотным раствором извлекается уран. В результате освоения этих месторождений, добычи руд карьером и переработки руд КВ в Южной Якутии может быть создан крупный золоторудный район с ресурсами около 200 т золота. **Ключевые слова:** Элькон, Северное, золото, уран, технологические сорта, кучное выщелачивание (КВ).*

Tarkhanov A.V., Bugrieva E.P., Kolpakov G.A., Kazantsev V.V., Balakina I.G. (VNIIXT), Smagin A.P. (VNIPIPT)

**THE NEW TYPE URANIUM-GOLD DEPOSITS IN  
LINEAR CRUST WETHERING ON OLDER  
SHIELDS FOR EXAMPLE SEVERNOE DEPOSIT  
(ALDAN SHIELD, REPUBLIC SAKHA (YAKUTIA))**

*The poor U-Au mineralization established over initial ore bodies in deposits of Elkon District. New complex technological method heap leaching of Au and U worked out for*

*this mineralization. Two technology sorts of ores revealed in Severnoe deposit: Au-Ag and Au-Ag with increased content of uranium. Au and Ag extracted from both sorts of method cyaniding. The uranium leaching weak sulfuric acid solution. The ore mining of open-pit and processing of heap leaching development of these deposits will create the new large-scale region. **Keywords:** Elkon, Severnoe, gold, uranium, technological sorts, heap leaching (HL).*

Эльконский урановорудный район расположен в крупном докембрийском выступе (горсте) Алданского щита. На площади около 3000 км<sup>2</sup> выявлено более 30 ураноносных тектоно-метасоматических зон (ТМЗ). В 13 из них установлены промышленные золотоурановые месторождения с общими запасами урана 342 тыс. т, средним содержанием урана 0,147 %, запасами золота 188,4 т (среднее содержание 0,8 г/т) и серебра 2448 т (10 г/т). На восточном фланге самой крупной рудной зоны Южная выявлены промышленные концентрации молибдена.

Промышленные урановые руды во всех ТМЗ не доходят до дневной поверхности на 100–300 м, что объясняется выносом урана из коры выветривания при окислении первичных золотоурановых руд. В приповерхностной части ТМЗ фиксируются главным образом забалансовые содержания урана и повышенные содержания золота (более 1 г/т). Распределение рудопроявлений золота, выявленное при опробовании поверхностных горных выработок, показано на рис. 1 [1]. В первичных золотоурановых рудах основным урановым минералом является браннерит, а золото концентрируется в пирите. В зоне окисления уран связан с вторичными минералами и реликтами браннерита, золото в виде наночастиц концентрируется в породообразующих минералах.

Ранее рудопроявления золота в коре выветривания ТМЗ не представляли промышленного интереса, но с применением нового для этого района способа кучного выщелачивания (КВ) они могут стать полноценными промышленными объектами, способными обеспечить создание нового золотопроизводящего центра на юге Якутии.

В 1962 г. при оценке одного из таких рудопроявлений в южной части Эльконского района в тектоно-метасоматической зоне Федоровская было выявлено месторождение Лунное, представленное новым типом золотоуранового оруденения, локализованного в зоне окисления, в котором основным полезным компонентом являлось золото, а уран являлся лишь попутным полезным компонентом. Разведка этого месторождения проводилась в 1969–1972 гг., в 2008 г. было образовано СП ЗАО «Лунное» артелью «Селигдар» и