

Роль совмещенных палеогидрогеологических систем в формировании уранового оруденения вулканотектонических депрессий Центрально-Азиатского подвижного пояса

На примерах известных ураноносных вулканических структур западного и восточного секторов Центрально-Азиатского подвижного пояса образование пластовых залежей сульфидно-настурановых руд в слоистых толщах кальдер сопоставляется с результатами деятельности артезианских рудоформирующих систем в MZ-KZ осадочных бассейнах с гидрогенными урановыми месторождениями песчаного типа. В вулканических кальдерах выделяется ряд рудоконтролирующих структур от пологих проницаемых горизонтов и палеодолин до крутопадающих разломно-трещинных зон. Это позволяет прогнозировать крупные пластовые рудные залежи на нижних уровнях и флангах вулканических депрессий в известных рудных районах, а также вовлекать в изучение новые вулканотектонические сооружения.

Ключевые слова: *урановое оруденение, вулканические структуры, Центрально-Азиатский подвижный пояс, палеогидрогеологические системы.*

G. V. AFANASEV, YU. B. MIRONOV, E. M. PINSKY (VSEGED)

Role of combined paleohydrogeological systems in forming uranium mineralization in volcano-tectonic depressions of the Central Asian mobile belt

The formation of flat-sheet sulphide-pitchblende ore deposits in layered sequences of calderas is compared with the results of activity of artesian ore-forming systems in MZ-KZ sedimentary basins with hydrogenic sandstone-type uranium deposits using the example of known uranium-bearing volcanic structures in the western and eastern sectors of the Central Asian mobile belt. A number of ore-controlling structures have been identified in volcanic calderas: from gentle permeable horizons and paleovalleys to steeply dipping fault-fissure zones. This allows predicting major sheet ore deposits at lower levels and flanks of volcanic depressions in known ore areas and encouraging the study of new volcano-tectonic edifices.

Keywords: *uranium mineralization, volcanic structures, Central Asian mobile belt, paleohydrogeological systems.*

Постановка проблемы. Урановые месторождения в вулканотектонических депрессионных структурах (ВТС) известны в связи с различными по возрасту геологическими формациями – от протерозоя до кайнозоя [14]. Общие промышленно значимые запасы урана этого типа в мире составляют около 1 млн т. Особое значение вулканический тип имеет в России, где только в месторождениях Тулукуевской кальдеры в Забайкалье сосредоточено более 60 % всех мировых урановых запасов.

Почти 50 лет назад на примере урановых месторождений пермской Карабашской кальдеры в Чаткало-Кураминской зоне Западного Тянь-Шаня [4] была предложена к рассмотрению нестандартная модель формирования вулканогенного оруденения в депрессионных структурах, не согласующаяся с ортомагматическим стереотипом, где главным источником рудообразующего раствора считались глубинные магматические образования. Комплекс исследований вертикального разреза от поверхности до фундамента кальдеры позволил предположить, что рудоносный раствор формировался за счет погружения вадозных вод по послонным коллекторам с возможным смещением

их с метаморфическими водами, а также со значительным участием фумарольных эксгаляций. В ходе денудации на стадии вскрытия депрессионной структуры возник гидродинамический режим перемещения сформированных на глубине растворов из нижних горизонтов к поверхности по структурам разгрузки. На участках перекрытия таких структур эффузивными толщами происходило рудоотложение. Таким образом, рудоносная вулканотектоническая структура в начале формирования, на стадии проседания и заполнения кластическим вулканогенно-осадочным материалом, сопоставлялась с бассейном артезианского типа. В последующие годы развитие подобных идей не стало приоритетным, хотя вытекающая из модели необходимость привлечения к прогнозно-поисковым исследованиям палеогидрогеологических методов никем не отрицалась. Урановые месторождения в ВТС с различной морфологией рудных тел, как жильно-штоковерковой, так и пластовой, традиционно относились к эндогенным гидротермальным с соответствующим единым комплексом критериев прогнозирования. Таким представлениям отвечали особенности «постартезианской истории» развития

ряда крупных кальдер с их обрушением, деструкцией и внедрением субвулканических интрузий, в результате чего происходили радикальная перестройка ВТС и гидротермальная регенерация ранее возникших пластовых рудных залежей.

Если объединить идеи, возникшие на материале изучения урановых месторождений Чаткало-Кураминской зоны и группы более ранних латераль-секреционных моделей, то можно видеть чёткую унаследованность противопоставлений происхождения рудоносных растворов, имеющих постмагматический характер с одной стороны, а с другой, связанных с деятельностью подземных вод, участвующих в общем климатическом круговороте (гидатогенных по терминологии В. Е. Кудрявцева [6]).

В процессе тотального пересмотра и анализа обширной информации по урановым провинциям мира с применением геодинамических и гидродинамических палеорекопструкций [1–3] был выделен целый ряд известных ураноносных ВТС различного возраста с пластовыми рудными залежами и признаками палеоартезианских рудоформирующих систем. Учитывая значительное число такого рода объектов и уточненные представления об условиях формирования гидrogenных урановых месторождений (песчаниковый тип) в артезианских осадочных бассейнах [3], данное направление металлогенических исследований следует считать весьма перспективным. Его развитие может привести к установлению новых закономерностей и выявлению крупных объектов в известных рудных районах.

Карабашская рудоносная кальдера (Узбекистан) находится в западной краевой части позднепалеозойского Чаткало-Кураминского ареала наземного вулканизма [4, 7]. Для ареала наиболее характерны мелкие жильно-штокверковые месторождения с молибден-урановыми (\pm флюорит) рудами, приуроченные главным образом к C_3 – P_2 вулканическим структурам (Чаули, Алатаньга, Каттасай, Майликатан), а также к массивам поздних (P_2) аляскитовых гранитов (Чаркасар, Ризак, Табашар, Киик-Тал). Большинство исследователей генезис урановых месторождений Чаткало-Кураминского ареала традиционно считает эндогенным гидротермальным средне-низкотемпературным. Однако, согласно версии [4, 7], в некоторых ВТС кальдерного типа на этапе проседания и формирования структуры устанавливаются благоприятные условия для длительного существования напорных артезианских или термоартезианских гидродинамических систем и образования пластовых рудных залежей. При этом рудообразующие растворы формируются за счет погружения вадозных вод и, возможно, смещения их с гидротермами. Участие вадозных вод и заимствование урана из пород основания и вулкаников подтверждаются, в частности, изотопными исследованиями сульфидной серы. Пересмотр и анализ материалов по Карабашской кальдере и месторождению Чаули подтверждают эту версию.

Карабашская кальдера – наиболее уцелевшая от тектономагматической переработки и эрозии в рамках Чаткало-Кураминского ареала. Соседняя более крупная Бабайтагская кальдера, напротив, испытала радикальную перестройку. В ней известны только жильно-штокверковые молибден-урановые месторождения (Каттасай, Алатаньга, Майликатан и др.), которые локализируются в крутопадающих

разрывах в связи с краевыми и межблоковыми субвулканическими интрузиями. Вопрос о существовании в пределах Бабайтагской ВТС пологих рудных залежей или их реликтов остается открытым.

Карабашская кальдера сформирована на древнем, существенно гранитном основании (возраст преобладающих гранодиоритов 420–380 и 350 млн лет), имеет овальную конфигурацию при размерах по осям 25×20 км и оконтуривается почти сплошным кольцом субвулканических интрузий гранит-порфиоров верхней перми и краевых разломов (рис. 1).

Выполнение кальдеры представлено пологозалегающей слоистой толщей вулканогенно-осадочных пород C_3 – P_2 мощностью 500–1000 м. Субширотным Чибаргатинским сбросо-сдвигом с мощной зоной брекчирования, вмещающей флюорит-полиметаллические месторождения, кальдера делится на два равновеликих блока, несколько отличающихся по своему строению. Разрез Северного блока начинается лавоагломератами и лавобрекчиями андезибазальтов, мощность которых максимальна на востоке и, вероятно, фиксирует некую крутопадающую эксплозивно-жерловую структуру. В низах разреза Южного блока базальты отсутствуют. Слоистая толща в западной части Южного блока вмещает крупный купол фельзит-порфиоров, а в южной приразломной части Северного блока – малый купол кварцевых порфиоров, вблизи которого размещается месторождение Чаули. На противоположном, южном фланге разлома выявлены месторождения Чибаргата и Беляк. В разрезе слоистой толщи выделяются три части (снизу вверх): свита чередования туфов, туффигов, туфопесчаников, песчаников и алевролитов, мощность которой увеличивается в южном направлении (70–250 м); игнимбритовая свита спекшихся пепловых туфов риолитов; свита пирокластитов кислого-среднего состава. По физико-механическим свойствам породы нижней свиты туфогенно-осадочного состава резко отличаются от перекрывающих вулкаников, сложенных плотными малопроницаемыми разностями. Для нижней свиты характерны большая эффективная пористость пород (более 10 %) и высокая проницаемость (более 0,05 мд). Таким образом, в составе слоистой толщи выделяются два главных элемента, существенно различающиеся условиями циркуляции водных растворов: слоистая «продуктивная» высокопроницаемая существенно осадочная свита («коллектор»), залегающая на эродированном гранитном основании и вмещающая месторождение Чаули; перекрывающий её мощный водоупор в виде плотных риолитовых туфов и игнимбритов. По этим признакам Карабашскую кальдере исследователи относят к бассейнам палеоартезианского типа с напорным гидродинамическим режимом подземных вод, благоприятным для гидrogenного рудообразования [4, 7].

Месторождение Чаули с ресурсами в 4,5 тыс. т урана занимает южную, приразломную окраину Северного блока, вмещающую купол кварцевых порфиоров и насыщенную поздними дайками гранит-порфиоров, диабазов и лампрофиоров [7].

Урановое оруденение представлено двумя типами рудных тел: субсогласными пологими пластовыми залежами с вкрапленно-прожилковым распределением минерализации; крутопадающими штокверково-жильными зонами (рис. 2). Пологие пластовые залежи, располагающиеся под экраном-водоупором

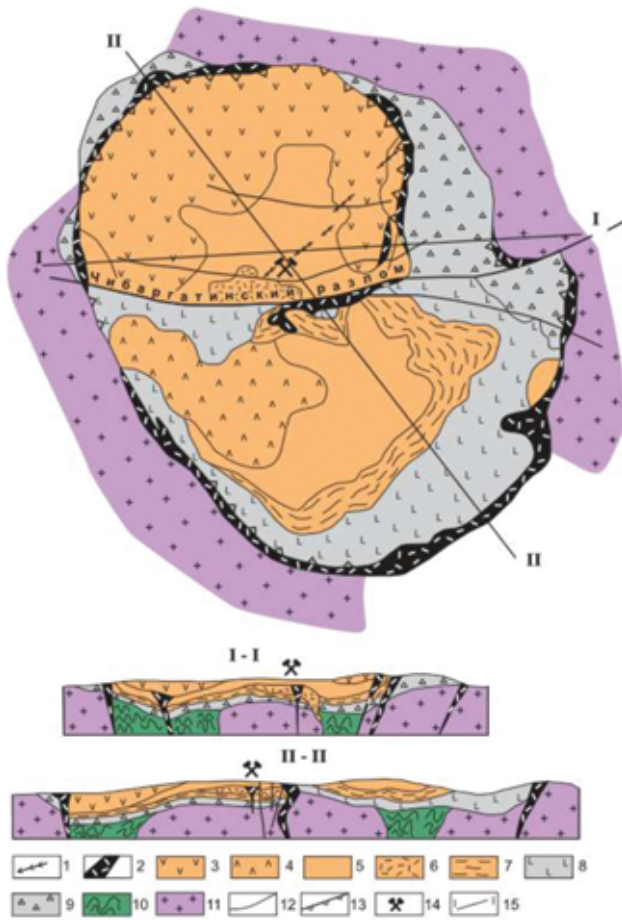


Рис. 1. Схема геологического строения Карабашской кальдеры, по [7]

1 – дайки кварцевых порфиров (P_2); 2 – экструзивные тела риолитов (P_2); верхняя толща (C_3-P); 3 – игнимбриты и туфы кварцевых порфиров с конгломератами, туфопесчаниками, туфами и туффитами в основании; 4 – разнообразные брекчии риолитов и их пепловые туфы; 5 – пепловые туфы, брекчии, кластолавы, игнимбриты риолитов, агломераты, туффиты и алевролиты; 6 – породы экструзивно-эффузивного купола – риолиты, кварцевые порфиры и их пирокласты; 7 – конгломераты, игнимбриты, туфы кварцевых порфиров и дацитов, прослои яшм, известняков и спекшихся туфов; нижняя толща ($C_{2,3}$); 8 – андезибазальты и их туфобрекчии; 9 – андезибазальты и их агломераты; 10 – метаморфические сланцы (O); 11 – ранне-среднекарбонные и позднесилурийские гранитоиды (V); 12 – границы геологических тел; 13 – тектонические нарушения; 14 – месторождение Чаули; 15 – линии разрезов

игнимбритов и пирокластитов, находятся на глубинах 1000–1200 м, а крутопадающие рудоносные тектонические швы и жилы мощностью до 1 м развиваются над ними в вулканиках вплоть до 300 м от современной дневной поверхности. В нижнюю андезибазальтовую пачку и фундамент оруденение не прослеживается. Благодаря большому размаху штокверково-жильного оруденения по вертикали (до 600 м) на глубине были выявлены основные запасы урана в пластовых залежах.

Главная пологая залежь вытянута в СЗ-ЮВ направлении на 2 км при ширине около 700 м и объединяет 14 пластовых и линзообразных рудных тел протяженностью 50–160 м при мощности 5–60 м. Такие параметры, особенно мощность рудных тел, могут свидетельствовать о кулисно-ярусном

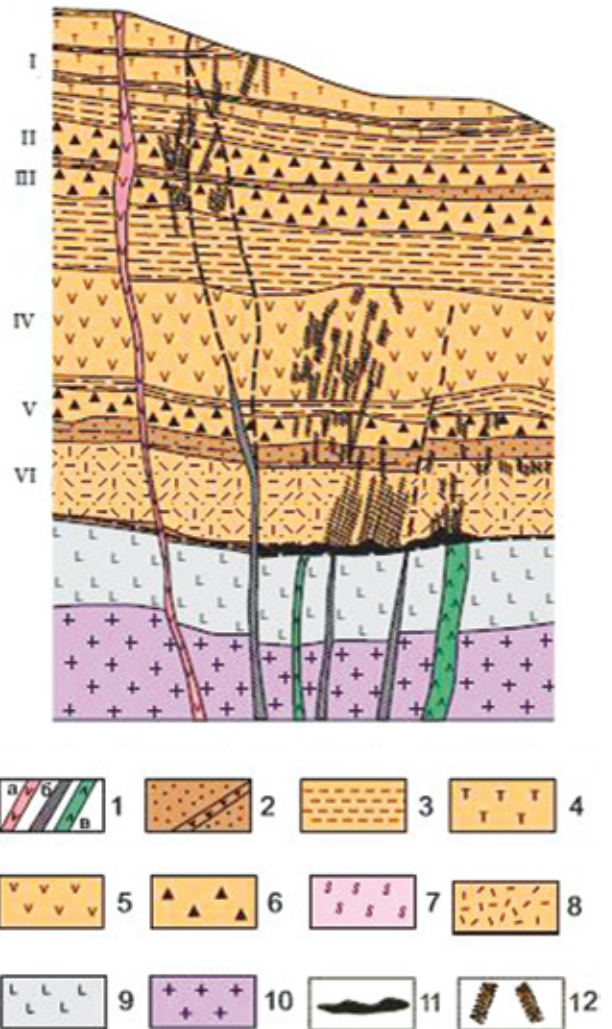


Рис. 2. Схема размещения пластообразных залежей и субвертикальных урановородных тел в разрезе вулканических пород Карабашской кальдеры [7]

1 – дайки гранит-порфиров и кварцевых порфиров (a), риолитов (б), андезитов (в); 2 – песчаники, туфы, туфопесчаники, агломераты; 3 – игнимбриты риолитов, массивные и флюиодальные риолит-порфиры; 4 – туфы кварцевых порфиров с горизонтами флюиодальных риолитов; 5 – кварцевые порфиры; 6 – лавобрекчии, туфобрекчии, туфы, агломераты риолитов; 7 – риолиты палеовулканического жерла; 8 – туфолавы, туфо- и лавобрекчии, игнимбриты риолитов и кварцевых порфиров; 9 – андезиты и андезидациты; 10 – граниты; 11 – пологие, пластообразные урановые рудные тела; 12 – крутопадающие жильные урановородные тела

размещению оруденения в пачках чередования различных по проницаемости пород нижней свиты.

Пластовые и секущие рудные залежи различаются по минеральному составу оруденения и содержанию урана. Пластовые залежи сложены сульфидно-настурановыми (+коффинит) рудами, содержащими в значительных количествах молибденит, а также халькопирит и пирит. Оруденение сопровождается карбонатизацией и хлоритизацией вмещающих пород. Штокверково-жильное оруденение представлено малосульфидными настурановыми (+галенит) рудами и сопровождается гематитизацией, серцитизацией и карбонатизацией пород. Содержание урана от 0,03 до 2,0 % при средних значениях 0,1–0,3 % и максимумах в жильных телах. Возраст руд пологих залежей 278–274 млн лет

(K/Ar) или 275–267 млн лет (U/Pb), а крутопадающих жильных до 259–212 млн лет.

Несомненно, что разные типы рудных залежей сформированы в различных геотектонических и палеогеографических условиях. Пологие рудные залежи в сульфидсодержащих проницаемых горизонтах под или между водоупорами несут следы гидрогенного происхождения. Они формировались в осадочном бассейне в условиях напорной гидродинамической палеоартезианской рудоформирующей системы с внутренней областью разгрузки. Эти условия в поздней перми были прерваны в связи с процессами обрушения кальдеры, которые сопровождались массовым внедрением субвулканических интрузий и даек, в том числе купола кварцевых порфиров вблизи месторождения. С этими процессами была связана гидротермальная регенерация руд пластовых залежей с перемещением части рудного вещества вверх вдоль крутопадающих трещинных зон и формированием штокверково-жильных «висячих» рудных тел. Фактическим подтверждением регенерации первичных руд является большое разнообразие форм остаточных концентраций урана в пластовых залежах в виде гнездовой вкрапленности, прожилковых штокверков и даже трубчатых тел. Размещение рудных полей Чаули и Чибаргата-Беляк по разные стороны Чибаргатинского разлома, возможно, игравшего роль внутренней зоны разгрузки подземных вод, позволяет предполагать существование зеркально-симметричной пары редокс-фронтов [3] в Карабашском вулканартезианском бассейне. В пределах Южного блока кальдеры с увеличенной мощностью нижней туфогенно-осадочной свиты и вне зон влияния поздних экструзивных куполов и разломов возможно существование неизвестных ранее многоярусных пластовых залежей, лишенных приповерхностных индикаторов: «висячих» штокверковых урановых концентраций и геохимических ореолов.

Тулукуевская рудоносная кальдера (Россия, Забайкалье) размещается в пределах одноименного протобрабена Приаргунского гранито-гнейсового купола предрифейского заложения и перекрывает эродированные структуры полихронно гранитизированного основания, включающего рифей-палеозойские черные сланцы [5, 7, 9]. Характерна отчетливая радиогеохимическая специализация как пород гранитизированного основания, так и вулканических кальдеры. Углеродистым сланцам (надаровская R_2 и урулюнгуевская R_3 свиты) свойственны повышенные содержания урана (4–12 г/т) и ряда сопутствующих элементов. Повышенными содержаниями урана отличаются также продукты гранитизации этих толщ с прогрессирующим увеличением в 2–3 раза концентраций во времени до 25–30 г/т в ультракислых вулканиках-риолитах и аляскитовых гранитах J_3 – K_1 . Доступная для поисков и изучения южная часть Тулукуевской кальдеры выделяется в качестве Стрельцовского рудного поля, в котором выявлено 19 Mo-U месторождений с суммарными запасами более 300 тыс. т при среднем содержании урана 0,25 % [9]. Из общего числа урановых месторождений два крупных размещаются в породах домезозойского основания (Антей 31 и Аргунское 37,5 тыс. т) и составляют более 25 % ресурсов рудного поля. Стальные 17 месторождений, в том числе крупные Стрельцовское – 62 и Октябрьское – 19 тыс. т, размещаются

в различных образованиях выполнения кальдеры: 13 – в горизонтах осадочных и туфогенно-осадочных пород (70 % запасов) и 4 – в жерловых фациях (менее 5 % запасов). Отдельные месторождения (Стрельцовское, Тулукуевское) отличаются богатыми контрастными рудами с содержаниями урана от 0,2 % до целых процентов. Кроме урановых месторождений в Тулукуевской кальдере известны два флюоритовых месторождения (Стрельцовское верхнее и Гозогор) и ряд полиметаллических рудопроявлений. Все урановые месторождения кальдеры являются скрытыми, слепыми, не имеющими выходов на поверхность, причем верхние части рудных тел находятся на глубинах более 150–220 м.

Тулукуевская кальдера образована в результате компенсационного проседания крупного стратовулкана центрального типа в связи с опустошением магматического очага при важной роли разломов, прослеживающихся на 5,5–14 км в гранитизированное основание. Разрез рудовмещающей слоистой толщи кальдеры разделяется на две свиты: нижнюю – приаргунскую (J_3) и верхнюю – тургинскую (K_1^1) примерно одинаковой мощности. В составе приаргунской свиты выделяются три покрова базальтов (нижний, средний и верхний), разделенных пачками вулкаников и осадков и фиксирующих эпизоды прорыва мантийного вещества. Наибольшей мощности лавобрекчии и лавоагломераты (до 200–400 м) достигают на участке эксплозивного кратера месторождения Антей в основании Стрельцовского месторождения. В составе тургинской свиты покровы базальтов редки и маломощны, что отражает существенно коровый характер вулканизма на этом этапе формирования кальдеры. Образования кальдеры на северо-западе несогласно перекрываются отложениями угленосной кутинской свиты (K_1^2), содержащими в своем составе перемытый пепловый и туфовый материал и вмещающими пластовые урановые месторождения [5].

Главной рудоносной структурой Стрельцовского рудного поля является северо-восточная крутопадающая Аргунская «тектонически ослабленная» (разломно-трещинная) зона, контролирующая размещение как центров вулканизма – жерловин, субвулканических тел, так и уранового оруденения в залежах различной морфологии среди пород выполнения кальдеры (слоистой толщи), а также местами (Антей, Аргунское) в породах фундамента. Протяженность Аргунской зоны более 15 при ширине 4–6 км. На фоне морфологического разнообразия урановорудных залежей в пределах Аргунской зоны выделяются три основных типа: стратиформно-пластовые, линейно-штокверковые и жильные. Пластовые, в том числе лентообразные залежи приурочены к горизонтам с высокой поровой и трещинной проницаемостью. Они характерны для месторождений Новогоднее, Юбилейное, Мало-Тулукуевское, Мартовское, Дальнее, Лучистое и др. (рис. 3). Штокверковые залежи представляют собой системы крутопадающих, сложносочлененных минерализованных трещин. В основании покрова риолитов развиваются уплощенные штокверки, контролируемые субгоризонтальной поверхностью пологих межпластовых срывов. Штокверк Тулукуевского месторождения – лучший объект Стрельцовского рудного узла по соотношению запасы–содержание. Жильные тела развиваются в крутопадающих трещинных

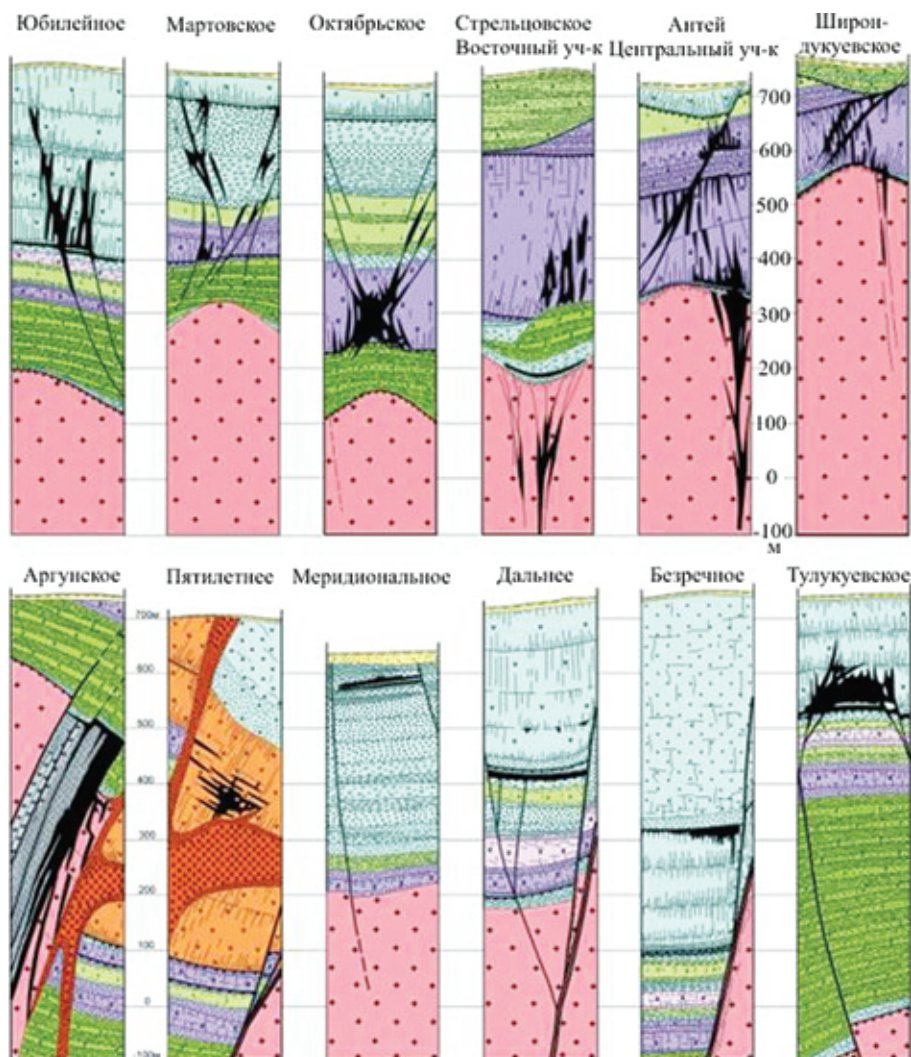


Рис. 3. Разнообразие морфологических типов рудных залежей (жилы, штокверки, пластовые тела) урановых месторождений Стрельцовского рудного узла [7]

зонах. Весьма симптоматично для магматогенной модели, что все месторождения, локализованные в жерловых фациях (Красный Камень, Жерловое, Пятилетнее), мелкие, с рядовыми рудами.

Различным типам рудных залежей свойственны следующие параметры. Для пластовых залежей характерна большая площадь в плане (тысячи квадратных метров до первых квадратных километров) при мощности до 50–200 м в раздувах, на участках слияния благоприятных горизонтов. Штокверковые и жильные рудные залежи, вытянутые, как правило, вдоль простирания поперечных к Аргунской зоне трещинных зон (разломов), имеют протяженность от первых сотен метров до 1,2–2,3 км при ширине от первых сотен до 800 м. Высота таких уплощенных жильно-штокверковых зон 50–80 до 120–300 м.

Считается, что основным рудоконтролирующим фактором является структурный, причем от литологического состава пород зависит главным образом характер трещинной тектоники. Вместе с тем, как показывает пересмотр материалов, это правило относится главным образом к секущим крутопадающим «столбовым» жильно-штокверковым рудным концентрациям и не вполне применимо к размещению стратифицированных пластообразных рудных залежей, которые преобладают

в пределах Стрельцовского рудного поля и балансе его ресурсов.

В металлогенических целях разрез слоистой толщи по составу пород и рудонасыщенности делится на пять литолого-структурных уровней. Наибольшим развитием пологих ленто- и пластообразных рудных залежей характеризуются 2- и 5-й уровни, приуроченные к нижним частям обеих свит слоистой толщи с широко распространенными туфогенно-осадочными породами. В частности, залежи на 5-м уровне приурочены к пиритизированным осадочным породам, обогащенным углефицированным растительным детритом. Наибольшей мощности такие залежи достигают в базальных палеодолинах, врезанных в основание.

Литолого-структурные уровни характеризуются чередованием горизонтов, контрастно различающихся по проницаемости для инфильтрации вод и водных растворов, с разделением на хорошо (коллекторы) и слабопроницаемые (экраны или водоупоры). К первым относятся горизонты осадочных пород (конгломератов, песчаников, туфопесчаников) и трещиноватых покровов туфолав различного, в том числе андезибазальтового состава, а ко вторым – плотные однообразные покровы лав и игнимбритов (риолитов, дацитов, базальтов), а также зоны межпластовых интенсивно

глинизированных срывов. Для разных уровней сочетания такого рода горизонтов и зон различны. Эти построения обычно предлагаются в традиционном аспекте гидротермального происхождения уранового оруденения [5], но скорее всего подкрепляют представления о сложном генезисе с важной ролью палеоартезианских гидродинамических систем при участии подземных вод [3].

Рудные залежи стратиформной-пластовой и секущей разновидности различаются по минеральному составу, геохимическому спектру руд и радиологическому возрасту. Для пластовых залежей характерен коффинит-настурановый состав с примесью иордизита, сульфидов свинца, цинка, браннерита и следами углеродистого вещества. В составе жильных залежей преобладает настуран, присутствует флюорит, а в геохимическом спектре руд появляются Ni, Co, Bi, Ag, Au. Содержания молибдена достигают 0,3 % при среднем около 0,1 %. Возраст бедных вкрапленных руд в пластовых залежах 145–140, в более богатых (до 0,5 %) столбовых 132 ± 5 млн лет.

Эти особенности свидетельствуют, как и в случае Карабашской кальдеры, о сложном характере формирования уранового оруденения Стрельцовского рудного поля, включающего два основных этапа: ранний этап гидрогенного рудообразования в бассейне артезианского или термоартезианского типа с внутренней областью разгрузки подземных вод, возможно, в зоне Восточно-Урулюнгуевского разлома, и поздний этап гидротермальной регенерации пластовых рудных залежей и образования крутопадающих жил. Первый этап соответствует процессу проседания вулканической структуры и заполнения её вулканогенно-осадочным материалом с функционированием напорной артезианской гидродинамической системы, а второй – процессу обрушения кальдеры и развитию гидротермальных штокерво-жильных образований, в том числе флюорита.

Месторождения в фундаменте кальдеры (Антей, Аргунское) скорее всего имеют более сложное происхождение, связанное с эндогенным заимствованием рудного вещества из более древних урановых концентраций, характерных для протоструктур гранито-гнейсовых куполов предрифейского заложения [1]. Об этом свидетельствуют как более широкие рамки интервала радиологических определений возраста руд от 420 до 130 млн лет, так и особенности вертикальной гидротермально-метасоматической зональности околорудных изменений палингенных гранитов фундамента в рудоносной «воронке» Антея глубиной более 400 м. Эта зональность состоит в смене глубинной приразломной альбитизации интенсивной аргиллизацией вблизи основания кальдеры.

Высокая рудоносность Тулукуевской кальдеры, в отличие от рассмотренных ранее примеров вулканических депрессий Чаткало-Кураминского региона, обусловлена сочетанием целого ряда объективных факторов, в числе которых большая мощность разреза кальдеры, содержащего более 10 % осадочных и туфогенно-осадочных пород с вкрапленностью пирита и углефицированным растительным детритом при ярусном размещении многочисленных горизонтов и пачек с высокой трещинно-поровой проницаемостью; разнообразие потенциальных источников урана – грейзенизированные палингенно-метасоматические гранитоиды

и рифей-палеозойские черные сланцы в составе фундамента и в особенности вулканы риолитового и дацитового состава кальдеры с содержаниями урана от 5,4–7,1 до 25–30 г/т, с высоким $Th/U \geq 5-7,3$, высокая активность до- и постартезианских гидротермально-метасоматических процессов мобилизации и концентрации урана, способствовавших формированию разновозрастного богатого штокерво-жильного оруденения в структурах двух типов: в протяженных по вертикали эксплозивных структурах типа Антея в фундаменте кальдеры и в многочисленных крутопадающих трещинных зонах между горизонтами с пластовыми рудными залежами, что создаёт «рудные этажерки» в разрезе слоистой толщи выполнения кальдеры. Все эти факторы и процессы в значительной мере обусловлены размещением Тулукуевской кальдеры в рамках одного из элементов протоструктуры Приаргунского гигантского гранито-гнейсового купола предрифейского заложения [1]. Данный купол, подобно другим куполам этой глобальной генерации, был сформирован в верхней части долгоживущей восходящей зоны флюидного термомассопереноса и характеризовался высокой энергетикой и рудоносностью на разных этапах эволюции континентальной земной коры.

Для сравнения основных выводов по Тулукуевской кальдере ниже рассмотрена информация по рудоносной Дорнотской ВТС, приуроченной также к структурам Монголо-Приаргунского вулканического пояса и располагающейся на сопредельной территории Монголии в 400–500 км к юго-западу от Стрельцовского рудного поля [10].

Дорнотская рудоносная ВТС (Монголия) входит в состав Северо-Чойбалсанского урановорудного района Монголо-Забайкальской провинции, который приурочен к Верхнеульдинскому сводовому поднятию в северо-восточной части Монголо-Приаргунского мезозойского вулканического пояса. Внутри этого крупного поднятия уже к позднему палеозою обособились Дорнотский и Угтамский локальные своды (стратовулканы), испытавшие в конце мезозоя компенсационное проседание и вмещающие месторождения урана, полиметаллов, золота и флюорита. Основанием Верхнеульдинского сводового поднятия служат докембрийско-палеозойские комплексы, сложенные метапородами различных стратифицированных серий, которые вмещают тела палеозойских гранитоидов с низкими содержаниями урана около 1 и тория 4,2 г/т. По сравнению с Приаргуньем в составе древних метаморфитов увеличиваются роль первично-карбонатных и фосфатоносных пород в ущерб черносланцевым, а в составе гранитоидов преобладание интрузий диоритового и гранодиоритового ряда. Вулканотектонические структуры сложены породами позднемезозойской (J_3-K_1) базальт-риолитовой ассоциации, характеризующейся отчетливой геохимической специализацией риолитов (перлитов, игнимбригов) на уран (6–8 до 12–18 г/т) и других рудных элементов Mo, Pb, Zn, Sn, Ag.

Дорнотская вулканотектоническая структура (ДВТС) объединяет несколько пространственно сближенных вулканических центров – Уланский, Мардаингольский, Уртынский и в целом представляет собой структуру проседания. По периметру ДВТС обрамляется поствулканическими угленосными впадинами мела, содержащими

значительные концентрации урана в лигнитах. Наиболее крупные угленосные впадины (Сэбсульская и Сумийннурская) размещаются по северному и южному флангам структуры. Выполнение ВТС – «слоистая толща» мощностью 1–1,5 км – включает как стратифицированные вулканиты, так и осадочные породы. По составу вулканитов толща делится на три части. Для нижней части характерны андезибазальты, для средней – игнимбриты и витрокластические туфы фельзитов и риолитов, для верхней – трахиандезиты. Горизонты осадочных пород часто обогащены углефицированными растительными остатками, а в базальных частях горизонтов отмечаются глубокие эрозионные впадины – палеодолины.

Дорнотский рудный узел объединяет пять урановых месторождений и ряд рудопроявлений с общими ресурсами более 57 тыс. т с содержанием урана 0,16 %. Ресурсы отдельных месторождений (в тыс. т): Дорнот – 33, Гурванбулак – 17, Нэмэр – 2,5 Мардайнгол – 1,1. Как и в Стрельцовском рудном поле Приаргуны, для месторождений ДВТС характерно резкое преобладание обширных по площади пластовых рудных залежей мощностью от 0,5 до 11 м (редко 30 м) с опережающими их крутопадающими зонами с жильно-штокерковыми концентрациями. Большая часть запасов урана Дорнотского месторождения (> 50 %) сконцентрировано в плитообразной рудной залежи среди шарово-брекчиевых андезибазальтов нижнего покрова. Залесь характеризуется штокерковым внутренним строением и сложным «роллоподобным» выклиниванием на флангах (рис. 4).

Вышележащие пластообразные рудные залежи приурочены к границе пород нижнего и среднего подкомплексов разреза и локализуются в пачке туфогенно-осадочных пород мощностью 60–110 м, обогащенных углефицированной растительной органикой. В этих рудных телах содержится около 30 % запасов месторождения. На верхних горизонтах развиты крутопадающие рудные зоны

и прожилки. При этом четко проявлена ведущая роль в рудоконтроле литологического фактора, точнее, степени проницаемости пород (поровой и/или трещинной) и их соотношений с водоупорами-экранами. Богатое оруденение тяготеет к наиболее тонкообломочным слоям, обогащенным углестым органическим веществом [10].

Для пластовых залежей характерен сульфидно-настурановый (\pm коффинит) состав вкрапленных руд (пирит, марказит, халькопирит, галенит, сфалерит, молибденит и редко арсенопирит). Вертикальный размах уранового оруденения 100–300 (до 600) м. По возрасту урановое оруденение ДВТС аналогично Стрельцовскому (135–130 млн лет). В пределах ДВТС установлен весьма важный фактор рудоконтроля, аналогичный стрельцовскому и состоящий в отчетливой приуроченности цепочки месторождений и рудопроявлений к СВ флангу регионального разлома, трассирующего рудоконтролирующую тектонически ослабленную разломно-трещинную зону типа Аргунской, в которой (в плане) размещаются все проекции телескопированных пластовых рудных залежей и опережающих их жильно-штокерковых рудных тел (рудные «этажерки»).

В этом случае проявляется важная роль мощных крутопадающих разломно-трещинных зон в распределении инфильтрационных вод-растворов по горизонтам контрастной по проницаемости «слоистой толщи» (аналогия с песчаниковым типом урановых месторождений). Определенное сходство подчеркивается также размещением пластовых рудных залежей рядовых урановых руд на фоне разделяющих их и преобладающих по площади ареалов с убогими концентрациями урана. Последние, как известно, для песчаникового типа являются основными и несомненно весьма рентабельными при отработке способом скважинного подземного выщелачивания, что определяет суммарные грандиозные ресурсы месторождений и рудных поясов.

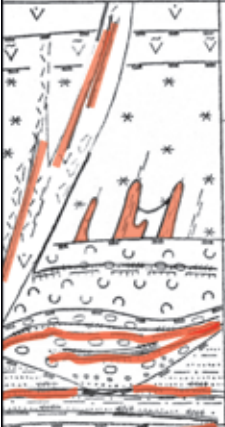
Стратиграфическая колонка	Литолого-структурные уровни, горизонты	Морфологические типы залежей	Номера рудосносных трещинных зон	Номера залежей	Процент запасов от всего месторожд.
	Приконтактные зоны рвущих тел в вулканитах среднего подкомплекса	Сложные мелкие жильнообразные и штокеркоподобные	6 10 11 12		
	Крутопадающие трещинные зоны в подошве покрова олигофировых риолитов	Жильнообразные и штокеркоподобные	1 4 5 8		4 13 1
	Зоны проницаемости и срывов в горизонтах, обогащенных углефицированной органикой в туфах, конгломератах и мелкообломочных породах на границе среднего и нижнего подкомплексов	Пластообразные	2А 2 3 9	2А 2Б 2В 3А 3Б 3В	4 10 12 3 1 2 1
	Зоны проницаемости и срывов в горизонте крупноглыбовых брекчий в низах покрова андезибазальтов	Плитообразные со сложным выклиниванием на флангах			7

Рис. 4. Условия локализации и морфологические типы рудных залежей Дорнотского уранового месторождения [10]

Вторая региональная рудоконтролирующая структура такого рода, располагающаяся зеркально-симметрично первой в пределах Уланского блока, — северо-восточная цепочка пластовых залежей Гурванбулакского месторождения протяженностью 9 км при ширине до 4 км. В пределах Уланского блока зона, параллельная Гурванбулакскому разлому, контролирует размещение ряда крутопадающих трубообразных брекчиевых структур с полиметаллическим оруденением (Pb, Zn, Ag + Cd, Cu, Au), которые пересекают породы нижней и средней частей слоистой толщи на глубину более 1 км и прослежены в фундаменте. С этими структурами связаны месторождения Уланское, Мухарское и рудопоявление Бутан. Полиметаллическое оруденение более раннее, чем урановое, и датируется 146 ± 7 млн лет (K/Ar).

Наличие региональных разломно-трещинных зон и их узлов внутри ДВТС может свидетельствовать о существовании палеоартезианского бассейна с вулканогенно-осадочным выполнением и внутренней областью (зоной) разгрузки инфильтрационных вод-растворов. Многоярусное стратиформное сульфидно-настурановое оруденение в разрезе контрастной по проницаемости пород слоистой толщи формировалось, вероятно, на восстановительных геохимических барьерах — редокс-фронтах, обусловленных присутствием растительной органики и сульфидов различного, в том числе вулканического происхождения в аналогичных условиях для образования месторождений несогласия. Телескопирование в плане этих редокс-фронтов, несомненно, было связано с распределительной ролью крутопадающих разломно-трещинных (тектонически ослабленных) зон по периферии палеоосадочного бассейна. С выделением такого рода структур можно связывать перспективы дальнейшего развития минерально-сырьевой базы ДВТС. Не исключено, что площадь позднемезозойского вулкано-артезианского бассейна не ограничивалась контурами ДВТС, а распространялась к северо-западу, захватывая соседние Угтамскую и Тургенскую ураноносные ВТС, которые в современных структурах отделены от ДВТС Сэбсульской угленосной впадиной. В этом варианте перспективы рудоносности Северо-Чойбалсанского района Монголии могут быть существенно расширены.

Неоген-четвертичный этап развития центральной, дорнотской части Верхнеульдзинского сводового поднятия характеризовался разрушением месторождений и выносом урана в межгорные впадины и отложения платформенного чехла Гобийско-Тамцагской провинции [1, 10].

Обсуждение результатов. Несмотря на обширный материал, разносторонне характеризующий рудоносные ВТС, главные вопросы об источниках рудного вещества и гигантских объемах постмагматических растворов остаются дискуссионными [14]. Классическая ортомагматическая концепция связи оруденения с магматизмом продолжает оставаться в ранге «общепризнанной». В полном соответствии с ней в итоговом комплексном исследовании урановых месторождений, осуществленном в ИГЕМ РАН [7], отмечено: «Характеризуемые месторождения образованы гидротермальными растворами, которые отделялись от кристаллизовавшихся глубинных очагов высокодифференцированных субщелочных ураносодержащих кислых магм» [7, с. 307].

Аналогичные воззрения суммируются и в работе ВСЕГЕИ [13, с. 94]: «Стрельцовский тип — это магматогенный тип урановых месторождений, связанный с высокорadioактивными риолитовыми расплавами и фтороносными базальтами». Авторы этих заключений не смущает противоречивость предложенной модели собственным изотопно-возрастным данным, указывающим на повсеместный отрыв времени оруденения от самых последних проявлений магматизма как минимум на 5–6 млн лет в СВТС. Странники магматогенной модели находят новые оригинальные свидетельства генетической связи конкретного магматического источника и рудного вещества. Так, при сопоставлении спектров содержаний редких земель в настуранах и в риолитах тургинской свиты K_1 , как очевидном продукте верхнекорового очага, было установлено отсутствие согласованности спектров распределения РЗЭ в настуранах и в риолитах, и как, следствие, некоррелированность тетрадных эффектов. С нашей точки зрения, полученный результат — своеобразное «дактилоскопическое» свидетельство отсутствия прямой генетической связи между составом настурана и составом пород магматического очага высокоспециализированных риолитов. Вместо объективного признания этого факта авторы [7] нашли «подходящий» новый источник урана — одновозрастный с риолитами СВТС магматический очаг редкометалльных Li-F гранитов и онгонитов хангилайского комплекса, в ассоциации с которыми нигде в Восточном Забайкалье не известно урановое оруденение, так же как и с аналогичным кукульбейским комплексом лейкокраповых гранитоидов. Кроме того, никаких фактических оснований предположения о присутствии этих образований в глубинной структуре СВТС (как предполагают авторы гипотезы на глубинах 7–15 км) никем и никогда не было представлено.

Принципиальное геохимическое отличие состава риолитов СВТС от предполагаемых аналогов — гранитоидов хангилайского и кукульбейского комплексов в более низком содержании в риолитах изоморфных аналогов U^{+4} — группы лантаноидов и Y, Zr, Nb. Такое своеобразие петрохимически близких пород отразилось на более высокой доле миграционно-способных форм урана в риолитах, о чем свидетельствует их более высокое $Th/U \geq 5$.

Классическая магматогенная версия теории рудообразования находится в противоречии с огромным набором накопленного эмпирического материала, обобщенного многочисленными исследователями, и не способна сегодня объяснить:

- происхождение источника колоссального объема водных ресурсов, необходимого для обеспечения реального объема эпигенетических гидротермально-метасоматических преобразований вмещающих пород;

- существование разрыва во времени между изотопным возрастом магматитов и возрастом оруденения, исключаяющим его магматогенное происхождение. Для СВТС этот разрыв составляет не меньше 5–6 млн лет. В Рудных горах не территории Германии и Чехии интервал между завершением позднепалеозойского магматизма и формированием жильного уранового оруденения составляет минимум 6–12 млн лет [7];

- геологические наблюдения наложения урановой минерализации на дайки лампрофиров и диабазовых порфиритов, имеющих зоны закалки,

т. е. внедрившиеся в уже остывшую раскристаллизованную породу;

– несоответствие качественного состава флюида и равновесного с ним расплава. Коэффициент распределения (K_p), характеризующий экстракционную способность расплава ($K_p = C_f/C_p$) – отношение концентрации экстрагирующегося вещества во флюиде к концентрации вещества в расплаве) для таких элементов, как (U, Mo, Sn, Th, TR, Zr, Hf, Ta, Nb) меньше 1, т. е. эти элементы накапливаются в расплаве, а не в отделяющемся флюиде [12];

– зависимость состава рудных минералов от геохимического облика вмещающих пород;

– существование полихронных меток оруденения, включающие древние датировки, присутствующие в породах фундамента, что было бы невозможно при полноценной магматогенной экстракции, стирающей всю предшествующую изотопную информацию. Так, в настуране СВТС, наряду с изотопными соотношениями основного рудного интервала времени 128–136 млн лет, фиксируются и 250–260, 457–459 млн лет и др.;

– построенные по данным определения термобарических параметров минеральных ассоциаций редкометалльных месторождений рТ диаграммы указывают на существование обширной области, где практически отсутствуют рудные минеральные ассоциации. Размах температур этой «пустой» зоны не менее 200 °С (от ~ 500 до ~ 700) [11] (рис. 5).

Все эти данные ограничивают модель формирования рудоносного раствора лишь как продукт его отщепления из магмы. Подобная модель представляется чрезмерно упрощенной, сдерживающей развитие прикладных следствий при анализе изучаемых объектов.

Наиболее достоверный показатель источника вод – изотопный состав их кислорода и водорода. Как следует из рис. 6, состав реальных гидротерм фиксирует результат смешения всех типов природных вод, и непосредственно силикатный расплав генерируют лишь небольшую часть общей гидротермальной системы. Вода, играя роль универсального теплоносителя, смешивает все свои вторичные формы (магматические, метаморфические, метеорные и др.) в глобальном круговороте. Многие исследователи неоднократно отмечали существенное участие вадозных вод в гидротермальных системах на всем вертикальном интервале рудообразования и важнейшую роль процессов регионального метаморфизма как реальных поставщиков термальных глубинных вод.

Сам факт совмещения в рудоносных растворах разных типов вод указывает на возможность совместного существования в одном месторождении двух основных категорий физико-химических барьеров рудогенеза – кислотно-щелочного – рН (как признака эндогенного оруденения) и окислительно-восстановительного – Eh (определяющего экзогенную составляющую). Недоучет этих возможностей, абсолютизация точки зрения верховенства магматогенного источника обедняют генетическую модель как основу прогнозных построений. Принимая во внимание специфику геолого-генетической основы, характеризующий этот тип оруденения следует учитывать дополнительный комплекс факторов, используемых для целей прогнозирования. Исходной основой для них может служить перечень, предложенный Г. А. Машковцевым и др., выделяющим две стороны рудообразующего

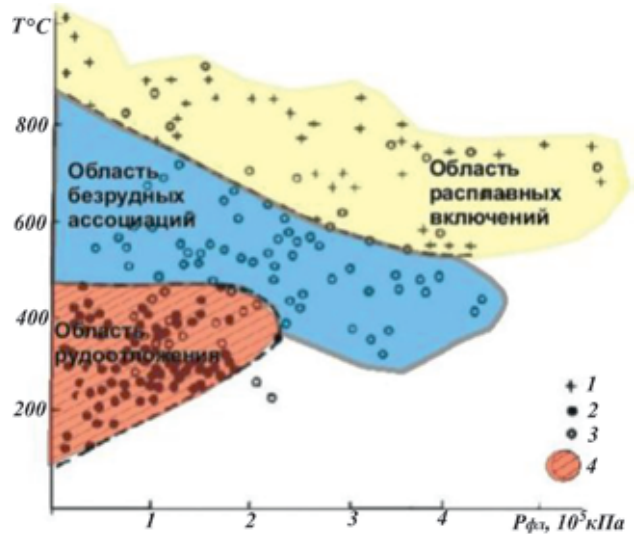


Рис. 5. рТ параметры, полученные на месторождениях Sn, W, Mo по включениям [11]

Включения: 1 – расплавные, 2 – флюидные рудных стадий, 3 – флюидные дорудных жил, 4 – области рудоотложения

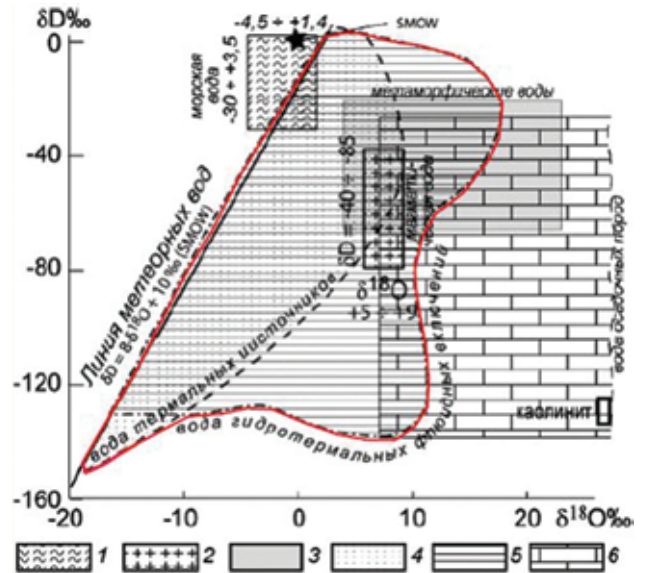


Рис. 6. Изотопный состав природных вод [12]

1 – морские, 2 – магматические, 3 – метаморфические, 4 – термальных источников, 5 – флюидных включений, 6 – осадочных пород, SMOW – стандарт. Красным цветом околонуена область существования гидротермальных флюидных включений

процесса – экзогенную и эндогенную [8]. При этом одним из главных признаков сложного генезиса уранового оруденения ВТС является пространственное сочетание элементов гидравлической связи трещинных гидрогеологических структур и различных поверхностных водоемов в периоды рудообразования.

Заключение. Подводя итог анализу деления вулканогенных урановорудных объектов на два различных генетических подтипа, с учётом материалов по их эталонным представителям в пределах Центрально-Азиатского подвижного пояса, акцентируем внимание на двух главных выводах, имеющих металлогенетическое значение:

— депрессионные структуры вулканического происхождения являются не только местом аккумуляции вулканической деятельности, но и бассейнами седиментации. Источник рудоносных растворов в них не может быть моногенным и включает в себя не только магматогенные, но и метаморфогенные, седиментационные и метеорные воды. Вулканогенные носители таких вод выступают не только источником рудообразующих растворов, но и их ассимиляторами-поглотителями. Длительная история вулканической деятельности в пределах депрессионных структур камуфлирует результаты накопления урана ранних стадий деятельности напорных пластовых вод. Генетическая модель, учитывающая эти особенности рудогенеза в депрессионных геологических структурах, обеспечивающих движение напорных пластовых вод, формирующих пластообразные и линзообразные рудные залежи, наряду с вулканогенными жилами и штокверками, может называться «вулканогенно-артезианской»;

— анализ распространения «вулканогенно-артезианской» модели формирования урановых месторождений в пределах Центрально-Азиатский подвижного пояса указывает на существование определённых различий между восточным (Монголо-Приаргунским) и западным (Чаткало-Кураминским) секторами этого пояса. К отличиям восточного сектора относятся: а) слабое проявление процессов обрушения кальдер, выразившееся в дефиците поздних, в том числе краевых субвулканических интрузий и даек, место которых во времени и пространстве «занимает» постурановая флюоритовая минерализация с максимумами её развития по периферии ВТС в виде самостоятельных месторождений; б) преобладающее многоярусное развитие в разрезе ВТС стратиформных-пластовых рудных залежей сульфидно-настурановых руд, сформированных на палеоартезианском этапе проседания вулканической структуры при процессах, во многом аналогичных процессам формирования урановых месторождений песчаникового типа; в) важная роль мощных крутопадающих тектонически ослабленных разломно-трещинных зон (типа Аргунской, Гурванбулакской) в контроле телескопированных кулисно-ярусных редокс-фронтов и соответствующих рудных поясов. Последняя особенность имеет важное значение для расширения минерально-сырьевой базы урана Монголии. С таких позиций имеет смысл пересмотреть вопрос о перспективах ураноносности и выявления новых крупных пластовых рудных залежей на нижних уровнях и флангах вулканических депрессий в известных рудных районах и в не до конца изученных ВТС.

1. Афанасьев Г.В., Миронов Ю.Б. Уран в купольных структурах земной коры. Опыт палеорекострукций в металлогении. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. — 360 с.

2. Афанасьев Г.В., Миронов Ю.Б., Пинский Э.М. Урановые провинции мира // Регион. геология и металлогения. 2014. № 58. — С. 91–99.

3. Афанасьев Г.В., Ю.Б. Миронов Ю.Б., Пинский Э.М. Новые аспекты формирования урановых месторождений песчаникового типа // Регион. геология и металлогения. 2014. № 59. — С. 89–96.

4. Барсуков В.Л., Гладышев Г.Д., Козырев В.Н. и др. Условия образования месторождений урана в вулканических депрессиях. — М.: Атомиздат, 1972. — 312 с.

5. Ищукова Л.П., Модников И.С., Сычев И.В. и др. Урановые месторождения Стрельцовского рудного поля в Забайкалье. — Иркутск, 2007. — 260 с.

6. Кудрявцев В.Е. Предпосылки гидатогенного рудообразования. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. — 119 с.

7. Лаверов Н.П., Величкин В.И., Власов Б.П. и др. Урановые и молибден-урановые месторождения в областях развития континентального внутрикорового магматизма: геология, геодинамические и физико-химические условия формирования. — М.: ИФЗ РАН, ИГЕМ РАН, 2012. — 324 с.

8. Машковцев Г.А., Коченов А.В., Халдей А.Е. О гидротермально-осадочном образовании стратиформных урановых месторождений в фанерозойских депрессионных структурах // Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах. — М.: Наука, 1995. — С. 37–51.

9. Машковцев Г.А., Константинов А.К., Мигута А.К. и др. Уран российских недр. — М.: ВИМС, 2010. — 850 с.

10. Миронов Ю.Б. Уран Монголии. — СПб., 2006. — 327 с.

11. Наумов Г.Б. Энергетика процессов рудообразования // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2008. № 3. — С. 40–55.

12. Наумов Г.Б., Берклиев Т.К., Миронова О.Ф. Формирование гидротермальных рудообразующих растворов в океанах и на континентах // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2011. № 3. — С. 1–13.

13. Шатков Г.А. Стрельцовский тип урановых месторождений // Регион. геология и металлогения. 2014. № 63. — С. 85–96.

14. Dahlkamp F.I. Uranium Deposits of the World. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. — 508 p.

1. Afanasev G.V., Mironov Yu.B. Uran v kupol'nyh strukturah zemnoj kory. Opyt paleorekonstrukcij v metallogenii [Uranium in the dome structures of the earth's crust. Experience of paleoreconstruction in metallogeny]. St. Petersburg: VSEGEI. 2010. 360 p.

2. Afanasev G.V., Mironov Yu.B., Pinskiy Eh.M. Uranium provinces of the world. *Region. geologiya i metallogeniya*. St. Petersburg: VSEGEI. 2014. No 58, pp. 91–99. (In Russian).

3. Afanasev G.V., Mironov Yu.B., Pinskiy Eh.M. New aspects of the formation of sandstone-type uranium deposits. *Region. geologiya i metallogeniya*. St. Petersburg: VSEGEI. 2014. No 59, pp. 89–96. (In Russian).

4. Barsukov V.L., Gladyshev G.D., Kozyrev V.N., Laverov N.P., Malyshev B.I. Usloviya obrazovaniya mestorozhdenij urana v vulkanicheskikh depressiyah [Conditions for the formation of uranium deposits in volcanic depressions]. Moscow: Atomizdat. 1972. 312 p.

5. Ishchukova L.P., Modnikov I.S., Sychev I.V., Naumov G.B. et al. Uranovye mestorozhdeniya Strel'covskogo rudnogo polya v Zabajkal'e [Uranium deposits of the Streltsov ore field in Transbaikalia]. Irkutsk. 2007. 260 p.

6. Kudryavcev V.E. Predposylki gidatogennogo rudoobrazovaniya [Prerequisites for hydatogenic ore formation]. St. Petersburg: VSEGEI. 1998. 119 p.

7. Laverov N.P., Velichkin V.I., Vlasov B.P., Aleshin A.P., Petrov V.A. Uranovye i molibden-uranovye mestorozhdeniya v oblasti razvitiya kontinental'nogo vnutrikorovogo magmatizma: geologiya, geodinamicheskie i fiziko-himicheskie usloviya formirovaniya [Uranium and molybdenum-uranium deposits in the areas of development of continental intratutor magmatism: geology, geodynamic and physicochemical conditions of formation]. Moscow: IFZ RAN, IGEM RAN, 2012. 324 p.

8. Mashkovcev G.A., Kochenov A.V., Haldej A.E. About the hydrothermal-sedimentary formation of stratiform uranium deposits in the Phanerozoic depressions structures. *Redmetal-uranium ore formation in sedimentary rocks*. Moscow: Nauka. 1995. Pp. 37–51. (In Russian).

9. Mashkovcev G.A., Konstantinov A.K., Miguta A.K., Shumilin M.V., Shchetochkin V.N. Uran rossijskih neдр [Uranium of Russian bowels]. Moscow: VIMS. 2010. 850 p.

10. Mironov Yu.B. Uran Mongolii [Uranium of Mongolia]. St. Petersburg. 2006. 327 p.
11. Naumov G.B. Energetics of Ore Formation. *Geology and minerals of the World Ocean*. 2008. No 3, pp. 40–55. (In Russian).
12. Naumov G.B., Berkeliev T.K., Mironova O.F. Formation of hydrothermal ore-forming solutions in oceans and on continents. *Geology and minerals of the World Ocean*. 2011. No 3, pp. 1–13. (In Russian).
13. Shatkov G.A. Streltsovsky type of uranium deposits. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2014. No 63, pp. 85–96. (In Russian).
14. Dahlkamp, F.I. 2009: Uranium Deposits of the World. Berlin, Heidelberg: Springer. 508.

Афанасьев Георгий Владимирович – доктор геол.-минер. наук, консультант, ВСЕГЕИ¹.

Миронов Юрий Борисович – доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ¹. <Yuri_Mironov@vsegei.ru>

Пинский Эдуард Маркович – доктор геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <Eduarg_Pinsky@vsegei.ru>

Afanasev Georgij Vladimirovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Consultant, VSEGEI¹.

Mironov Yuriy Borisovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department, VSEGEI¹. <Yuri_Mironov@vsegei.ru>

Pinsky Eduard Markovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI¹. <Eduarg_Pinsky@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.