

В. А. МИХАЙЛОВ, Ю. Б. МИРОНОВ (ВСЕГЕИ),
У. С. ЕФРЕМОВА (ИЗК СО РАН)

К вопросу о генезисе уранового оруденения на Шангулежской площади (Восточное Присяянье)

В 2018–2020 гг. в пределах Бирюсинской купольной структуры (Восточное Присяянье) при поисковых работах ПГО «Сосновгеология» выявлено рудопоявление урана Восточно-Столбовое, локализованное вблизи малого месторождения урана Столбовое. Выполнено изучение геологической позиции рудопоявления и эпигенетических преобразований раннепротерозойских гранитоидов и перекрывающих их среднерифейских песчаников. Сделан вывод о досреднерифейском происхождении рудных концентраций урана и их связи с процессами образования кор выветривания по гранитам с возможными последующими преобразованиями рудовмещающей среды и рудного вещества.

Ключевые слова: уран, рудные концентрации, метасоматиты, Восточно-Столбовое рудопоявление урана

V. A. MIKHAILOV, YU. B. MIRONOV (VSEGEI),
U. S. EFREMOVA (IEC SB RAS)

The genesis of the uranium mineralization in the Shangulezhszkaya area (Eyastern CIS-Sayan region)

In 2018–2020 within the Biryusinskaya dome structure (Eastern Sayan Region), during the prospecting of the «Sosnovgeologiya», the Vostochno-Stolbovoye uranium ore occurrence, localized near the small uranium deposit Stolbovoye, has been discovered. The study of the ore occurrence geological position and epigenetic transformations of the Early Proterozoic granitoids and the overlying Middle Riphean sandstone has been carried out. A conclusion about the Pre-Middle Riphean origin of the ore concentrations of uranium and their connection with the processes of the weathering crusts formation on granite and possible subsequent transformations of the ore-bearing medium and ore matter has been made.

Keywords: uranium, ore concentrations, metasomatites, Vostochno-Stolbovoye uranium ore occurrence

Для цитирования: Михайлов В. А. К вопросу о генезисе уранового оруденения на Шангулежской площади (Восточное Присяянье) / В. А. Михайлов, Ю. Б. Миронов, У. С. Ефремова // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 92. – С. 85–91. DOI: 10.52349/0869-7892_2022_92_85-91

Открытие уникальных по запасам и качеству руд месторождений урана, приуроченных к зонам предрифейского структурно-стратиграфического несогласия (ССН) на территории Канады (район бассейна Атабаска) и Северной Австралии (район бассейна Мак-Артур) и получивших название «оруденение типа несогласия», вызвало повышенный интерес к оценке перспектив ураноносности зон ССН этого возраста, распространенных в различных регионах Земного шара. Несмотря на высокую изученность условий локализации эталонных объектов, среди исследователей нет единого мнения об их происхождении. Известны многочисленные гипотезы формирования месторождений этого типа: гидротермальные, гипергенные, полигенные. Высказываются также сомнения об универсальности предрифейского ССН в появлении урановых месторождений подобного типа.

На территории России в конце XX – начале XXI веков коллективами ПГО «Сосновгеология» и «Березовгеология» выполнен значительный

объем прогнозно-поисковых работ на территориях, расположенных в зонах предрифейского ССН между дорифейскими кристаллическими породами, слагающими выступы фундамента среди перекрывающих их рифейских терригенных отложений. В частности, на территории Присяянского прогиба (Восточное Присяянье), в породах дорифейского фундамента близ границ с рифейскими осадками выявлены два малых месторождения урана – Столбовое и Ансах.

В 2018–2020 гг. на территории ранее выделенной перспективной Шангулежской площади, которая расположена в центральной части Бирюсинского гранито-метаморфического купола, проведено геолого-поисковое доизучение рудоносности зоны докембрийского ССН. Основанием для таких работ послужило нахождение на ее территории малого месторождения Столбовое и группы рудопоявлений и радиоактивных аномалий урана, а также развалы рудных глыб с содержанием урана свыше 1 %, расположенных вблизи контактов раннепротерозойских пород

фундамента и перекрывающих их средне-верхнерифейских песчаников.

Шангулежская площадь располагается в центральной части дорифейского Бирюсинского гранито-гнейсового купола. В ее пределах породы купола перекрыты пологозалегающими терригенными отложениями среднерифейского возраста, входящими в состав шангулежской свиты, которые залегают в основании плитного комплекса Сибирской платформы. Породы купола на территории площади сложены гранитоидами многофазного саянского комплекса раннепротерозойского возраста с ксенолитами биотитовых, кварц-серицитовых, амфиболовых и кварц-амфиболовых сланцев раннепротерозойской часовенской толщи. В составе гранитоидного комплекса принимают участие биотитовые, амфибол-биотитовые граниты, реже — плагиограниты. Широкое распространение имеют лейкократовые средне- и крупнозернистые граниты, которые представляют собой последние фазы комплекса. Гранитоиды и перекрывающие их терригенные отложения инфицированы долеритами и габбродолеритами нерсинского комплекса верхнерифейского возраста, которые образуют дайковые тела и силлы. Высказываются также предположения о наличии в пределах площади дайковых образований основного состава раннерифейского возраста [2].

Все обнаруженные рудные объекты располагаются в гранитоидах, в непосредственной близости от контакта с перекрывающими отложениями шангулежской свиты, в которых проявления уранового оруденения отсутствуют. Учитывая возраст несогласно залегающих на гранитоидах пород шангулежской свиты, а также приуроченность к границе структурно-стратиграфического несогласия (ССН), урановорудные объекты отнесены к типу «несогласия», а в качестве возможного эталонного аналога предложены месторождения, связанные с зонами ССН в куполе Нанамбу (Кунгарра, Джабилука, Рейнджер (Северная Австралия) [8].

Общими особенностями, сближающими рудные объекты Шангулежской площади и купола Нанамбу, является приуроченность к купольной структуре, близкое расположение к выходу на поверхность границы предрифейского ССН, размещение оруденения в породах фундамента и отсутствие его в отложениях чехла. Однако условия их локализации имеют существенные различия. Если в рудном районе купола Нанамбу урановорудные объекты размещаются в толщах углеродсодержащих метаморфических сланцев и в карбонатных породах, то рудовмещающей средой месторождения Столбовое и рудопроявлений являются лейкократовые и биотитовые граниты. Кроме того, в результате проводимых в последнее время поисковых работ на уран на месторождении Столбовое рудные концентрации выявлены под чехлом рифейских отложений, ниже которых находится площадная каолинит-гидрослюдистая кора выветривания,

развитая по гранитам. Установленная мощность коры — от 2 до 27 м.

Граниты на участках рудных проявлений интенсивно изменены в процессе одновременных эпигенетических преобразований различной природы: гидротермальных, тектоногенных, гипергенных. Ранние изменения представлены постынтрузивной высокотемпературной ассоциацией в составе: микроклин, альбит, биотит, мусковит, кварц, в перечисленной последовательности минералообразования (от раннего к позднему). Они относятся к плутоногенной фельдшпатолито-грейзеновой региональной метасоматической формации [9]. На стадии фельдшпатизации в гранитах Шангулежской площади сформировались многочисленные пегматитовые тела. Кварц-мусковитовые выделения знаменуют собой грейзеновую стадию метасоматоза.

Последующие преобразования в гранитах имеют тектоногенную природу. Граниты подвержены катаклазу, милонитизации и брекчированию, интенсивность проявленности которых неоднородная. При относительно слабом катаклазировании гранита кристаллы кварца и полевых шпатов имеют резко мозаичное погасание, появляются локальные зонки перекристаллизации. В плагиоклазах наблюдаются изгибы двойниковых швов, иногда разрывы кристаллов. Чешуи слюд деформированы, нередко приобретают гофрированные формы. При интенсивном катаклазе гранит превращается в обломочную породу, которая состоит из фрагментов, уцелевших от раздробления, осколков с неровными краями крупных кристаллов кварца и полевых шпатов (рис. 1), разорванных чешуй слюд, которые погружены в тонкораздробленную и перетертую часть субстрата, как правило, замещенного минеральными ассоциациями более поздних метасоматических образований. Такие породы имеют катакластическую, чаще бластакластическую и цементную текстуры.

Милонитизация выражается в образовании субпараллельных обломков кристаллов и линзовидных фрагментов гранита, появлении полосчатости и линейности в перетертой части породы (рис. 2). Милонитовая часть, как и в катаклазитах, замещается минеральными новообразованиями последующих этапов изменений. Порода имеет милонитовую и бластомилонитовую структуру, сланцеватую, а в интенсивно милонитизированных разностях — очково-сланцеватую текстуру. Гранит приобретает гнейсовидный облик. Катаклаз и милонитизация гранитов имеют широкое распространение на Шангулежской площади. Их образование свидетельствует о проявленности интенсивного дислокационного метаморфизма, имевшего место в Бирюсинском куполе, и, скорее всего, в пределах всего Присяянья в раннепротерозойское время.

Другая форма тектонического воздействия на гранитоиды — брекчирование, при котором в породах появляются трещиноватость, угловатые разноориентированные осколки кристаллов

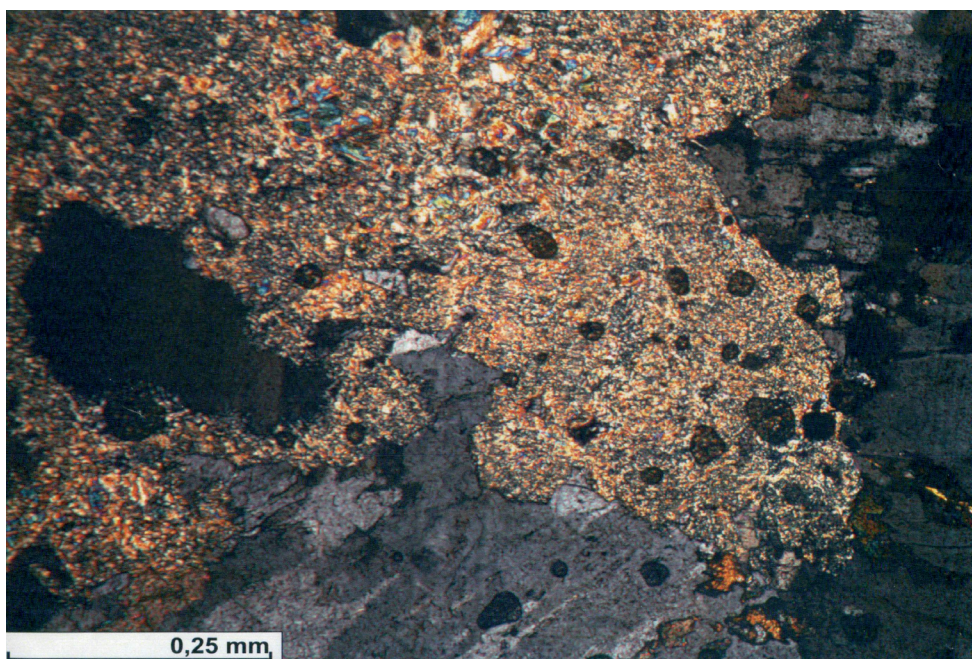


Рис. 1. Катаклазит гранита. Истертая часть породы замещена гидрослюдисто-серицитовым агрегатом. Мелкие выделения сфена

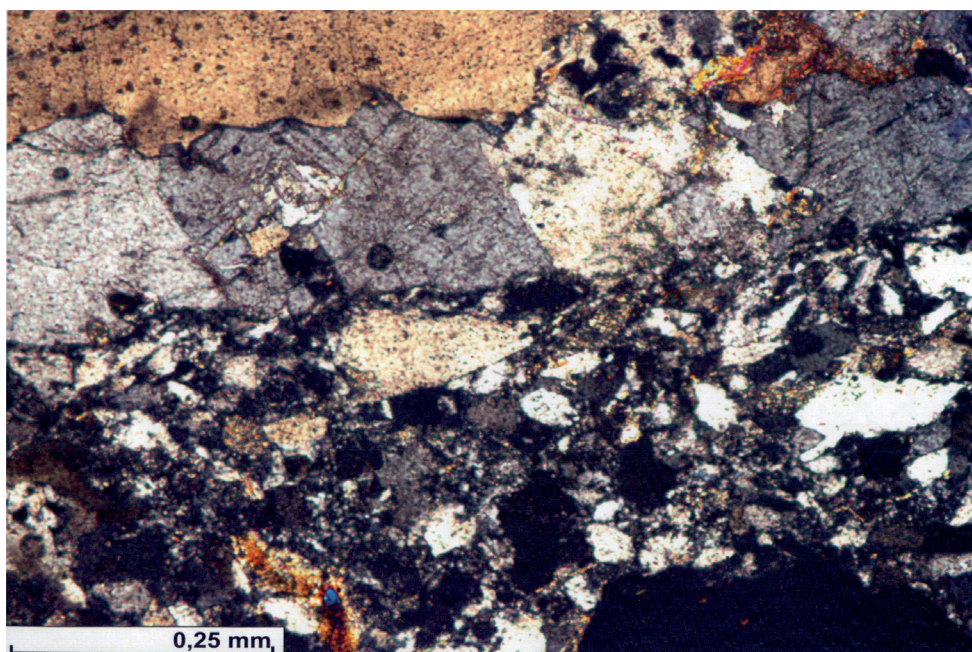


Рис. 2. Милонитизированный гранит с реликтами кристаллов кварца, полевого шпата и перетертого материала, замещенного микрочешуйчатым серицитом и криптокварцем

и фрагментов гранита. При интенсивном преобразовании порода превращается в тектоническую брекчию. Брекчирование представляет собой более поздний процесс, чем катаклаз и милонитизация, что подтверждается тем, что в уцелевших от брекчирования обломках наблюдаются следы катаклаза и милонитизации. Брекчированию подвержены также основные породы, слагающие дайки в гранитах. Процессы брекчирования повторялись неоднократно, как в дорудное, так и в пострудное время и связаны с разрывной

тектоникой, широко проявленной в пределах рассматриваемого региона.

Дальнейшие изменения гранитов и прорывающих их долеритов связаны с интенсивно проявленными метасоматическими процессами, представленными в пределах рудных участков развитием низкотемпературных минеральных ассоциаций. В их составе основное место занимают микро-крипточешуйчатые серицит-гидрослюдистые и микро-криптозернистые кварцевые агрегаты. Довольно часто в ассоциации с ними

появляется карбонат, реже хлорит. В рудоносных участках присутствуют сульфиды и гематит, иногда — окислы титана в виде игольчатых и толстотаблитчатых микрокристаллов рутила (?) и выделения титанита, значительно лейкоксенизированного.

Наиболее интенсивное развитие ассоциации перечисленных минералов наблюдается на участках интенсивной тектонической проработки: в катаклазитах, милонитах, брекчиях. В пределах таких участков раздробленная и перетертая часть гранитов полностью замещается новообразованными минералами, которые также развиваются по трещинам в уцелевших от разрушения обломках гранита; породы приобретают пятнистую текстуру. В таких участках полному замещению подвержены дайковые породы основного состава. При этом сохраняются лишь отдельные измененные реликты с долеритовой структурой, чаще — «тени» этой структуры (рис. 3). Состав метасоматической ассоциации аналогичен таковой, проявленной в гранитах.

Микро-криптозернистые агрегаты кварца и слюд образуют как совместные сростания, так и мономинеральные выделения. Временные соотношения в них непостоянны. Иногда тонкие прожилки криптокварца секут гидрослюды. Нередко видны обратные соотношения. По-видимому, они выделялись в ходе единого процесса, в условиях меняющейся геохимической среды.

Карбонат в ассоциациях имеет несколько модификаций. Дотектонический кальцит развит в виде прожилков и кристаллических выделений в полевых шпатах гранита. В посттектоническое время он появляется в ассоциациях с криптокварцем и криптослюдами в форме неравномернозернистых агрегатов и имеет светло-буроватый цвет, обусловленный окислением содержащегося в нем железа (скорее всего, сидерит).

Хлорит замещает биотит в гранитах, участвует в ассоциациях с криптокварцем, гидрослюдами, карбонатом, иногда слагает прожилки, секущие гидрослюды. Отмечается развитие двух разновидностей хлорита: слабо плеохроирующей зеленой (прохлорит?) и темно-серой, почти черной (шамозит).

В микрослюдистых и, особенно, в микрокриптокварцевых агрегатах часто присутствуют обильные микровкрапленники пирита. В рудных участках отмечаются пирит совместно с халькопиритом (по нему развивается малахит) и урановорудные минералы — настуран и коффинит. Нередко в этой ассоциации присутствует гематит в прожилковой и гнездовой форме, по которому зачастую развиваются гидроокислы железа. Пирит при этом окислению не подвержен.

В терригенных породах шангулежской свиты, перекрывающих гранитоиды, подобные тектоногенные и метасоматические преобразования отсутствуют. В песчаниках свиты наблюдаются следующие эпигенетические преобразования пород: цемент песчаников базально-контактовый, обломочные зерна имеют выпукло-вогнутые контакты, реликты первичного цемента замещены гидрослюдистыми агрегатами, карбонатом, иногда наблюдается регенерация зерен кварца. Такие изменения в песчаниках (уплотнение, глинизация, карбонатизация, регенерация обломочных зерен кварца) характерны для зоны катагенеза и проявлены на глубине 2–2,5 км [7]. Изменения имеют изохимический характер. В настоящее время песчаники выведены на поверхность.

Как уже отмечалось, граница между чехлом и фундаментом маркируется площадной корой выветривания. Рудные концентрации урана в коре выветривания отсутствуют, хотя отмечаются небольшие повышения его содержания (20–30 г/т).

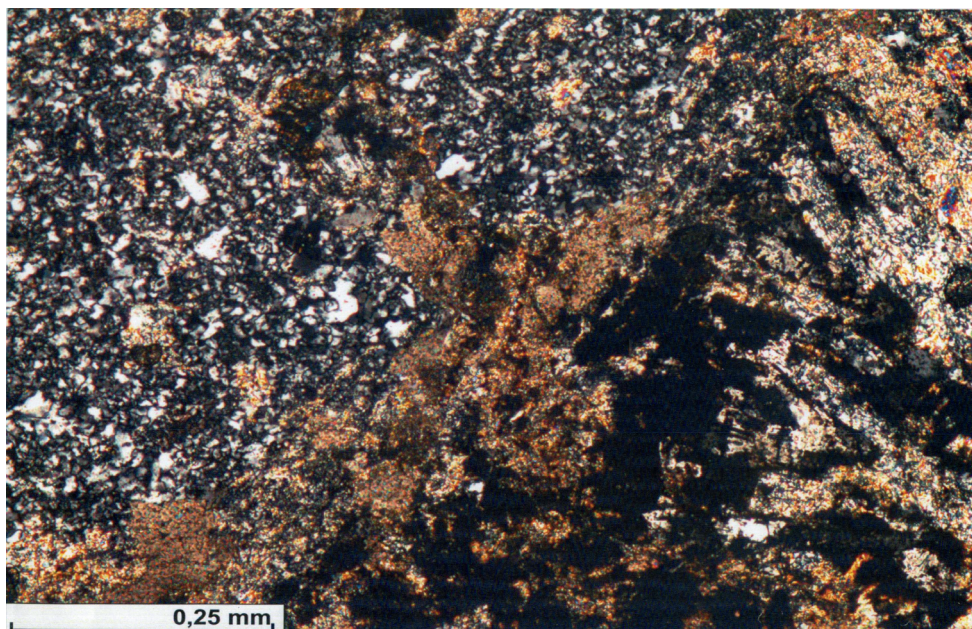


Рис. 3. Интенсивно измененные породы основного состава с реликтами долеритовой структуры (в правой половине рисунка)

По результатам проведенных наблюдений в керне скважин, вскрывающих урановое оруденение в лейкократовых гранитах саянского комплекса под чехлом средне-верхнерифейских отложений шангулежской свиты, можно сделать вывод, что урановое оруденение сформировалось до среднерифейского времени. Приуроченность уранового оруденения к выходам на поверхность вблизи контакта гранитоидов и терригенных отложений шангулежской свиты (месторождение Столбовое и ряд проявлений) обусловлено процессами денудации при воздымании территории и вскрытии рудных объектов, располагающихся ниже поверхности несогласия. Вскрытые рудные объекты также подвержены активной денудации, на что указывает большое количество рудных глыб с высокими концентрациями урана. О величине воздымания свидетельствует появление на современной поверхности базального слоя шангулежской свиты, в песчаниках которого проявлены структурно-вещественные катагенетические преобразования, соответствующие глубине их погружения не менее, чем на 2–2,5 км.

Определяя возможный тип уранового оруденения в пределах Шангулежской площади, необходимо охарактеризовать особенности вмещающей среды:

- оруденение располагается в лейкократовых и биотитсодержащих средне-крупнозернистых гранитах, которые внедрились в последние фазы становления гранитоидов саянского комплекса;

- гранитоиды после внедрения испытали интенсивный высокотемпературный гидротермальный фельдшпатолито-грейзеновый метасоматоз;

- вмещающие оруденение граниты специализированы на уран, превышая кларк содержания урана (по А. П. Виноградову – 3,5 г/т) в гранитоидах земной коры в 2–2,5 раза;

- граниты интенсивно тектонизированы в результате дислокационных процессов и проявления разрывной тектоники, в процессе которых сформировались протяженные разломы северо-западного направления и более молодые, менее протяженные, ветвящиеся субмеридиональные разрывные структуры. Обе системы разломов формировались в условиях раздвига; некоторые из них служили каналами для внедрения дайковых пород основного состава;

- в посттектонический период по зонам тектонической проработки, представляющим собой разуплотненную среду, благоприятную для миграции флюидов, развивались низкотемпературные микро-криптокварцевые и гидрослюдистые метасоматиты с сопутствующим карбонатом и хлоритом, участками пиритоносные и гематитоносные.

Урановорудная минерализация в низкотемпературных метасоматитах представлена настураном и коффинитом.

Аналогичные рудовмещающие среды установлены практически на всех известных урановорудных месторождениях в гранитах, распространенных в различных регионах РФ и за ее пределами: месторождения урана в мезозойских

гранитах Китайской древней платформы, Забайкалья, в позднепалеозойских гранитах Центрально-Французского и Армориканского древних кристаллических массивов и др. Для каждого из этих месторождений прослеживается общая схема смены событий в геологическом развитии:

- становление лейкократовых и биотитсодержащих специализированных на уран гранитов в пределах древних купольных структур, сложенных кристаллическими породами и гранитными комплексами;

- развитие постинтрузивных высокотемпературных фельдшпатолито-грейзеновых метасоматитов в гранитах;

- интенсивная тектоническая проработка гранитов, в результате чего в гранитах возникают зоны повешенной проницаемости, к которым приурочены месторождения; рудные тела локализованы в зонах дробления.

- низкотемпературные метасоматические преобразования: состав метасоматитов варьирует на различных месторождениях, локализованных в ранигах и определяется составом фильтратов, поступающих в зоны разуплотнения, сорбционными характеристиками вмещающей среды и другими факторами;

- развитие площадной каолинит-гидрослюдистой коры выветривания.

К особенностям рудовмещающих гранитов относится то, что они располагаются в крупных купольных структурах и срединных массивах и внедряются на завершающих этапах тектоно-магматических циклов.

В вопросе генезиса месторождений урана в гранитах существуют два направления: более распространенное – гидротермальное, и менее – экзогенное. Так, урановое оруденение месторождений в гранитах Центрально-Французского массива, по мнению одних исследователей [4], образуется в результате выщелачивания урана из грейзенизированных гранитов в позднепермскую эпоху тектоно-магматической активизации в результате эндогенных метасоматических изменений. Другие специалисты предполагают, что рудные концентрации урана возникли в процессе гранитизации. Ряд исследователей считают, что мобилизация урана из гранитов происходила в условиях гипергенеза, в период пенепленизации территории при последующей концентрации рудных тел в зонах разломов [1; 5]. При этом подавляющее большинство исследователей считают, что источником урана в рудных телах являлись граниты и отмечают развитие в них процессов грейзенизации. Особенность этих процессов заключается в их способности преобразовывать уран в легкомиграционное состояние.

Принимая во внимание последовательность и характер преобразующих процессов в рудовмещающих гранитах Шангулежской площади, можно отметить ряд особенностей, имеющих отношение к генезису уранового оруденения, локализованного в пределах площади. Источником оруденения являются специализированные

на уран лейкократовые и биотитсодержащие граниты. Значительная часть урана в них в результате грейзенизации преобразована в подвижное, легкомиграционное состояние. Граниты интенсивно тектонизированы, в результате чего в них образовались участки с повышенной проницаемостью. В предрифейский период в результате воздымания граниты были выведены на поверхность и подверглись пенеппенизации, в условиях которой сформировалась каолинит-гидрохлоритовая кора выветривания. Коры такого состава образуются в условиях влажного гумидного климата, при котором в породы проникают кислородсодержащие атмосферные воды. Обладая сильными окислительными свойствами, они обогащаются ураном, извлекая его из гранитов при фильтрации. Наибольшее обогащение ураном подземных вод происходит в процессе формирования кор выветривания горных пород «в условиях умеренного водообмена на относительно небольших глубинах» [6].

Наличие проницаемых зон в гранитах, сформированных в результате тектонических преобразований, обеспечивает проникновение воды поверхностной зоны на значительные глубины, которая, взаимодействуя с породами, изменяет свой состав и производит метасоматические преобразования. Метасоматические изменения на рудных объектах Шангулежской площади представлены низкотемпературными ассоциациями, основу которых составляют криптокварц и гидрослюда. Предположить глубинное происхождение гидротермальных растворов из гранитов, способных образовать такие метасоматиты, затруднительно. В зоне деятельности подземных вод подобные преобразования обычны, поэтому не исключено, что в рудообразовании урана в пределах Шангулежской площади активно участвуют воды поверхностного происхождения. Косвенным свидетельством возможного участия гидрогенных процессов при формировании урановых руд Шангулежской площади является состав ассоциации сопутствующих урану элементов, включающих Se, Cu, Co, Ni, V, характерных для гидрогенных месторождений.

Установлено, что в процессе формирования коры выветривания гранитов происходит интенсивный вынос кремнекислоты, натрия, железа и щелочных земель [6], которые скорее всего и являются источниками образования криптокварца, железистых карбонатов и хлоритов на месторождении Столбовое и других проявлениях урана. При понижении щелочности раствора с глубиной содержащаяся в нем кремнекислота выпадает в осадок в виде гелей, которые обладают высокой сорбционной способностью, накапливают уран и служат его источником при дальнейшем изменении щелочно-кислотных свойств и температурного режима среды [6]. Состав минеральных ассоциаций, соотношения минералов в них, элементы зональности, фиксируемые в пределах рудных объектов Шангулежской площади, свидетельствуют о длительности их формирования,

меняющихся кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий рудообразования, возможно, комбинированном глеево-сероводородном восстановительном барьере, его миграции, о чем свидетельствует появление рудных концентраций на разных уровнях вмещающей среды.

Значительные изменения рудного вещества и рудовмещающей среды могли быть вызваны меняющейся термо-барической обстановкой при погружении на глубину в ходе формирования чехла и на этапе воздымания к поверхности, сопровождаемые разрывной тектоникой, по разломам из глубинных источников газов с восстанавливающими свойствами: углеводородов, сероводородов, водорода и сопутствующими процессами. О длительности формирования рудных тел месторождений Столбовое и Ансах свидетельствуют определения радиологического возраста оксидных минералов из богатых руд (1% и более), охватывающие интервал от 1,62 до 1,27 млрд лет [2].

Выводы.

1. На Шангулежской площади урановое оруждение находится ниже кор выветривания, контролируется зонами интенсивной тектонической и метасоматической проработки гранитов. При этом так же интенсивно и единообразно изменены и рудовмещающие долериты даек, что подтверждает предположение о существовании досреднерифейского дайкового комплекса основных пород. В базальных отложениях перекрывающей граниты шангулежской свиты рудных (и даже аномальных концентраций урана) не зафиксировано. Отсутствуют признаки тектонического и метасоматического воздействия на песчаники, гравелиты и конгломераты. Это позволяет с большей долей уверенности полагать, что рудные концентрации урана (Столбовое, Восточно-Столбовое и др.) сформировались до начала осадконакопления шангулежской свиты.

2. После перекрытия осадками этой свиты рудные объекты занимают «подэкранное расположение» и появление их на поверхности обусловлено процессами глубокой эрозии, что объясняет их обнаружение на склонах впадин в ареале развалов рудных обломков.

3. Расположение рудных концентраций под корой выветривания, состав рудовмещающих метасоматитов предполагают активное участие в процессе рудообразования богатых кислородом атмосферных осадков, которые в процессе формирования коры выветривания при инфильтрации вступают в химическое взаимодействие с гранитами, выщелачивают уран, преобразуют минеральный состав первичных пород, создавая благоприятную среду для рудоотложения. Поэтому есть основания считать, что месторождение Столбовое и рудные концентрации урана под чехлом отложений шангулежской свиты на Восточно-Столбовом участке, предположительно, относятся к гипергенной гене-

тической группе трещинно-инфильтрационного типа в гранитах. В классификации гидрогенных месторождений урана [3] среди урановорудных формаций гидрогенного типа выделена «урановая в древних корах выветривания», которая развита по изверженным и метаморфическим образованиям. Вероятно, рудные концентрации в пределах Шангулежской площади можно отнести к этой формации.

Учитывая особенности геологического строения в пределах Шангулежской площади и, в целом, Бирюсинской купольной структуры, под чехлом рифейских отложений в биотитовых и лейкократовых гранитах могут находиться значимые рудные концентрации урана, для успешных поисков которых необходимо установить палеорельеф фундамента, положение гранитных массивов в нем, тектонических зон, пересекающих эти граниты, и значительных по мощности кор выветривания, что предполагает проведение целенаправленных геофизических исследований.

1. Афанасьев Г. В. Металлогения урана континентальных блоков земной коры / Г. В. Афанасьев, С. В. Бузовкин, Б. Б. Голубев, К. А. Григорьев, Г. Б. Кочкин, В. Е. Кудрявцев, В. М. Медведев, Г. В. Нехорошев, Ю. М. Шувалов. — Л.: Недра, 1980. — 256 с.

2. Бабкин Н. Я. Эволюционно-геологическая модель «слепых» и слабопроявленных месторождений урана типа «несогласия» в Восточном Присяянье / Н. Я. Бабкин, Н. А. Гребенкин, А. П. Долгушин, С. У. Зайцев, А. И. Корякко, В. М. Куличенко, С. Мельников // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 3. — С. 2.

3. Батулин С. Г. Гидрогенные месторождения урана / С. Г. Батулин, Г. В. Грушевой, О. И. Зеленова, Г. В. Комарова, И. А. Кондратьева, А. К. Лисицин, И. С. Оношко, А. И. Перельман. — М.: Атомиздат, 1980. — 270 с.

4. Бойцов Е. В. Геология месторождений урана. — М.: Недра, 1989. — С. 172–173.

5. Кудрявцев В. Е. Предпосылки гидрогенного рудообразования. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. — С. 20–24.

6. Кудрявцев В. Е., Шор Г. М. Пути совершенствования прогноза месторождений урана. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. — 84 с.

7. Лебедев Б. А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. — Л.: Недра, 1992. — 239 с.

8. Орлов М. В., Чесноков Л. В. Сравнительные особенности геологического строения факторов ураноносности Центрального Присяянья и купола Нанамбу (Сев. Австралии) // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — М., 2004. — Вып. 145. — С. 154–172.

9. Плющев Е. В. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований / Е. В. Плющев, Г. М. Беляев, О. П. Ушаков, В. В. Шатов. — Л.: Недра, 1981. — 102 с.

1. Afanas'ev G. V. Metallogeniya upana kontinental'nyh blokov zemnoj kory. G. V. Afanas'ev, S. V. Buzovkin, B. B. Golubev, K. A. Grigor'ev, G. B. Kochkin, V. E. Kudrjavcev, V. M. Medvedev, G. V. Nehoroshev, Yu. M. Shuvalov. Leningrad, Nedra, 1980, 256 p.

2. Babkin N. Ja. Jevoljucionno-geologicheskaja model' «slepyh» i slaboprojavlennyh mestorozhdenij urana tipa «nesoglasija v Vostochnom Prisajan'e». N. Ja. Babkin, N. A. Grebenkin, A. P. Dolgushin, S. U. Zajcev, A. I. Korjavko, V. M. Kulichenko, S. Mel'nikov. Razvedka i ohrana neдр. 2015, no. 3, p. 2.

3. Batulin S. G. Gidrogennye mestorozhdenija urana. S. G. Batulin, G. V. Grushevoj, O. I. Zelenova, G. V. Komarova, I. A. Kondrat'eva, A. K. Lisicin, I. S. Onoshko, A. I. Perel'man. Moscow, Atomizdat, 1980, 270 p.

4. Bojcov E. V. Geologija mestorozhdenij urana. Moscow, Nedra, 1989, pp. 172–173

5. Kudrjavcev V. E. Predposylki gidrogenного rudoobrazovanija. St. Petersburg, Izd-vo VSEGEI, 1998, pp. 20–24.

6. Kudrjavcev V. E., Shor G. M. Puti sovershenstvovaniya prognoza mestorozhdenij urana. St. Petersburg, Izd-vo VSEGEI, 2001, 84 p.

7. Lebedev B. A. Geohimija jepigeneticheskikh processov v osadochnyh bassejnah, Leningrad, Nedra, 1992, 239 p.

8. Orlov M. V., Chesnokov L. V. Sravnitel'nye osobennosti geologicheskogo stroeniya faktorov uranonochnosti Central'nogo Prisajan'ja i kupola Nanambu (Sev. Avstralii). Materialy po geologii mestorozhdenij urana, redkih i redkozemel'nyh metallov. Moscow, 2004, vol. 145, pp. 154–172.

9. Pljushhev E. V. Metodika izuchenija gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovanij. E. V. Pljushhev, G. M. Beljaev, O. P. Ushakov, V. V. Shatov, Leningrad, Nedra, 1981, 102 p.

Михайлов Виталий Алексеевич — ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <vitaly_mikhailov@vsegei.ru>

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

Ефремова Ульяна Сергеевна — мл. науч. сотрудник, ИЗК СО РАН². <log@crust.irk.ru>

Mikhailov Vitaly Alexeyevich — Senior Researcher, VSEGEI¹. <vitaly_mikhailov@vsegei.ru>

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

Efremova Uliana Sergeevna — Junior Researcher, IEC SB RAS². <log@crust.irk.ru>

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

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

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН). Ул. Лермонтова, 128, Иркутск, Россия, 664033.

Federal State Budgetary Institution of Science Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IEC SB RAS). 128 Ul. Lermontova, Irkutsk, Russia, 664033.