

Радиогеохимические и гидротермально-метасоматические факторы локализации уранового оруденения в вулcano-тектонических сооружениях Забайкалья

На примерах Стрельцовой, Норанской и Мухор-Талинской ВТС (Забайкальская урановорудная провинция) рассмотрены радиогеохимические и гидротермально-метасоматические особенности локализации уранового оруденения как в самих структурах, так и их фундаменте. Сделан вывод о влиянии гидротермальных изменений в породах фундамента на возможность локализации промышленного оруденения в вулканитах. Слабая выраженность радиогеохимических и гидротермально-метасоматических факторов снижает перспективы формирования уранового оруденения в вулканитах ВТС. В то же время наличие рудных тел в базальных слоях ВТС предполагает наличие уранового оруденения в фундаменте.

Ключевые слова: *Забайкалье, вулcano-тектонические сооружения (ВТС), уран.*

V. A. MIKHAILOV, A. A. RASSOLOV (VSEGEI)

Radiogeochemical and hydrothermal-metasomatic factors of uranium mineralization localization in volcano-tectonic structures of Transbaikal

Radiogeochemical and hydrothermal-metasomatic features of uranium ore localization either in structures and in their foundations are reviewed on examples of Streltsovskaya, Noranskaya and Mukhor-Talinskaya VTS (Transbaikalian uranium ore province). The conclusion of the influence of foundation rocks hydrothermal alterations on a possibility of industrial ore localization is done. Radiogeochemical and hydrothermal-metasomatic factors weak expression decreases perspectives of uranium ore formation in VTS volcanites. At the same time the presence of ore bodies in VTS basal layers suggests the presence of uranium mineralization in the foundation.

Keywords: *Transbaikal, volcano-tectonic structures (VTS), uranium.*

В урановой металлогении Восточной Сибири центральное место занимает Забайкальская урановорудная провинция. Она является основным источником урана в Российской Федерации. Большая часть его запасов сосредоточена в мезозойских вулcano-тектонических сооружениях (ВТС) и их протерозой-палеозойском фундаменте.

Стрельцовская ВТС. Среди многочисленных ВТС в этой провинции выделяется Тулукуевская структура, а в ней Стрельцовская кальдера, вмещающая 19 месторождений урана, пять из которых относятся к категории крупных и уникальных. Два из них, Антей и Аргунское, локализованы в породах фундамента. Уникальная рудоносность Стрельцовой кальдеры, по мнению Л. П. Ишуковой и др., объясняется «...формированием в пределах гранито-гнейсового купольного поднятия, соответствующего центру высокой активности астеносферы на протяжении всей истории развития данного блока» [3]. Другая особенность кальдеры – ее расположение на границе блоков земной коры с различными плотностями и петрохимическими свойствами.

Становление и породообразование в районе Тулукуевской ВТС с начала протерозойского времени происходило на фоне многочисленных тектонических перестроек, которые сопровождались проявлением интенсивной разрывной тектоники, магматизмом, гидротермально-метасоматическими

преобразованиями. На ранних этапах сформировался комплекс метаморфических пород и ультраметаморфических гранитоидов, гнейсо-гранитов, мигматитов, высокотемпературных кварц-полевошпатовых метасоматитов. На рубеже позднего протерозоя и раннего палеозоя в результате интенсивной гранитизации образовался урулюнгуевский комплекс гнейсовидных гранитов, насыщенных реликтами материнских метаморфических пород и ранних гранитоидов. В пермо-триасовое время в сводовое поднятие фундамента внедрились гранитоиды многофазового ундинского комплекса. Основной объем комплекса занимают среднезернистые биотитовые граниты, широко распространенные в фундаменте и обрамлении Стрельцовой кальдеры.

Гранитообразование на всех этапах сопровождалось интенсивной гидротермальной деятельностью, ведущее место в которой занимали высокотемпературные кварц-альбит-микроклиновидный метасоматоз и грейзенизация. Подчиненное значение имели пропилитизация и скарнирование.

Разрез Стрельцовой кальдеры представлен стратифицированными пологозалегающими осадочно-вулканогенными отложениями, которые делятся на две свиты – верхнеюрскую приаргунскую и нижнемеловую тургинскую. Приаргунская свита начинается конгломератами, в которых

присутствуют растительные остатки. Над ними залегают базальты и трахидациты, перемежающиеся с прослоями конгломератов, песчаников, алевролитов. В составе тургинской свиты в нижней части преобладают лавы и экструзии риолитов, в верхней чередуются покровы базальтов и кислых вулканических стекол, перекрытых углистыми алевролитами.

Для разрезов обеих свит характерны переменная мощность отложений, фациальная изменчивость, большое количество прослоев конгломератов, что свидетельствует о частых колебательных движениях при формировании кальдеры на фоне ее общего погружения.

В процессе циклической вулканической деятельности породы подвергались интенсивным гидротермальным преобразованиям, которые охватили весь объем вулканитов и по разломным зонам гранитоиды и метаморфиты фундамента. Широко распространены гидрослюдизация, монтмориллонитизация, цеолитизация, альбитизация, а в породах основного состава хлоритизация и карбонатизация. Отмечаются также флюорит, гематит, кварц. В образовании минеральных ассоциаций присутствует стадийность как следствие пульсационного поступления гидротермальных растворов при возобновлении вулканической деятельности.

В региональной радиогеохимической зональности Тулукуевская ВТС и Стрельцовская кальдера относятся к интенсивно дифференцированным на уран сооружениям с контрастной неоднородностью распределения урана в породах. В фундаменте радиогеохимической специализацией на уран (содержащими 5 г/т и более) выделяются раннепротерозойские гнейсовидные граниты (3,9 г/т), их порфириовидные измененные разности (10,8 г/т) и позднепалеозойские биотитовые граниты (9,6 г/т). При этом в скиалитах среди метасоматических гранитоидов среднее содержание урана имеет близкларковое значение. Раннепалеозойские гранитоиды в обрамлении Стрельцовского рудного поля также содержат уран на уровне близкларковых величин. Из этого сделан вывод [3], что радиогеохимическая специализация пород фундамента в Стрельцовском рудном поле «имеет наложенный характер, а обогащение ураном обусловлено полихронным постинтрузивным метасоматозом». Его активное перераспределение сопряжено с более поздними низкотемпературными гидротермально-метасоматическими процессами.

В мезозойских вулканитах высокой насыщенностью ураном отличаются трахидациты (среднее 5,4 г/т), их игнимбриты (7,2 г/т), измененные разности этих пород (13,1 и 28,9 г/т), фельзиты (14,2 г/т) и игнимбриты (8,4 г/т), их измененные разности (21,4 г/т), стекла риолитов (20,6 г/т), риолиты (7,1 г/т). Повышенное содержание урана характерно и для базальтов. В целом мезозойские вулканиты отличаются высокой специализацией на уран (таблица).

Все месторождения урана в Стрельцовском рудном поле располагаются в пределах зон максимальной радиогеохимической дифференцированности среди тектонически нарушенных и гидротермально измененных пород. Рудные тела разнообразной морфологии. В вулканогенно-осадочной толще оруденение многоярусное. На его локализацию влияют разломные зоны брекчирования и наличие экранирующих поверхностей на границах пород с различной проницаемостью и геохимическими

свойствами. Это определило формирование крутопадающих рудоносных зон (рис. 1). В фундаменте кальдеры морфология рудных тел определяется крутопадающими тектоническими нарушениями (рис. 2).

В процессе проведения поисковых, разведочных работ и бурения глубоких скважин на месторождениях Антей (до 2668 м) и Аргунское (2550 м) детально изучены литолого-структурные и минералого-геохимические условия формирования месторождений Стрельцовского рудного поля. На их основе составлена его геолого-генетическая модель. Дискуссионным в этой модели остается вопрос об источнике урана как в породах фундамента, так и образованиях кальдеры.

По представлениям И. С. Модникова и И. В. Сычева, источником могли служить радиогеохимически специализированные гранитоиды и гранитизированные породы фундамента [2, 5]. Г. А. Шатков и Л. Н. Шаткова предполагают в качестве источника урана кислые вулканиты самой кальдеры за счет подвижных форм, появление которых связано с раскристаллизацией стекла [8]. Л. П. Ишукова – сторонник мантийного происхождения урана [1, 3]. Однако подчеркивает, что ураном насыщены кислые магматические породы – гранитоиды и риолиты. Обе разности – производные полихронной литофильной дифференциации земной коры, при которой поздние дифференциаты интенсивнее обогащены ураном и торием. Первичные содержания урана активно перераспределялись эпигенетическими преобразованиями пород, которые в районе рудного поля имели полигенную природу и многократно повторялись, начиная с раннего протерозоя.

В фундаменте Стрельцовской кальдеры в домезозойский этап гранитоиды подвергались полихронным процессам кварц-альбит-микроклинового метасоматоза и грейзенизации. Воздействие этих процессов на поведение урана различно. В кварц-полевошпатовых высокотемпературных метасоматитах уран сосредоточен в аксессуориях – уранините, цирконе, монаците, ксенотиме и других минералах. Большая его часть в виде микроаксессуаров сосредоточена в биотите. При наложении процессов грейзенизации аксессуары разрушаются, а биотит полностью очищается от включений. Появляются межзерновые выделения, сгустки, тончайшие прожилки и т. д. При наложении поздних слабокислых растворов существенная его часть переходит в растворенное состояние, в то время как из неизмененных и полевошпатизированных гранитоидов при выщелачивании извлекается незначительная часть урана. В вертикальной метасоматической зональности гранитных массивов нижняя часть представлена зоной микроклинизации, выше зоной альбитизации, а верхняя зоной грейзенизации. Переходы между зонами нечеткие, постепенные, с совместным сонахождением этих минералов. Этим, вероятно, объясняется наблюдаемое в глубоких скважинах на месторождениях Антей и Аргунское увеличение легкоподвижных форм урана при приближении к кровле фундамента на фоне общего уменьшения его содержания в гранитах. Наоборот, с глубиной суммарные концентрации урана увеличиваются. Максимальные их значения приурочены к интервалам кварц-полевошпатового метасоматоза. Интервал заметных изменений содержания урана и доли его подвижных

**Средние содержания урана и тория
в породах Стрельцовского рудного поля, Норанской и Мухор-Талинской ВТС (в г/т)**

Породы	U	Th	Th/U
Стрельцовская ВТС (по данным Л. П. Ищуковой)			
<i>Породы ВТС</i>			
Фельзиты	14,2	45,7	3,2
Игнимбриты фельзитов	8,4	45,4	5,4
Вулканическое стекло риолитового состава	20,6	57,0	2,8
Риолиты	7,1	49,0	6,9
Трахидациты	5,4	27,0	5,0
Базальты	1,1	6,0	5,5
Трахибазальты	2,0	7,5	3,8
<i>Породы фундамента</i>			
Гнейсовидные крупнозернистые граниты (PZ ₁)	3,9	22,0	5,6
Гнейсовидные крупнозернистые граниты (PZ ₁), измененные	10,8	16,8	1,6
Среднезернистые биотитовые граниты (PZ ₂)	2,8	21,0	7,5
Средне-крупнозернистые биотитовые граниты (PZ ₂), измененные	9,6	Не определены	
Порфиroidные биотитовые граниты (PZ ₂) обрамления кальдеры	4,2	17,7	4,2
Норанская ВТС (по данным авторов)			
<i>Породы ВТС</i>			
Трахиты (покровные)	2,7	9,2	3,4
Трахидациты (субвулканические)	4,7	26,0	5,5
Базальты, долериты	1,2	4,3	3,8
Андезиты	1,5	4,6	3,1
Туфопесчаники, туфоалевролиты прибазальные	3,8	7,7	2,0
Конгломераты базальные	От 2,5 до 7,5 *	От 6 до 17	2,4
<i>Породы фундамента</i>			
Сиениты, граносиениты Норанского массива (P ₂)	7,6	17,5	2,3
Сланцы биотит-полевошпатовые	4,3	7,1	1,7
Сланцево-карбонатные породы углеродсодержащие	5,0	8,2	1,6
Сланцы кварц-серицитовые	5,0	7,2	1,4
Сланцы углеродсодержащие	9,4	14,1	1,5
Мухор-Талинская ВТС (по данным авторов)			
<i>Породы ВТС</i>			
Долериты мелового возраста	0,8	3,1	3,9
Фельзиты, фельзит-порфиры	3,5	13,4	3,8
Вулканическое стекло кислого состава	3,0	13,8	4,6
Риолиты, их туфы	2,5	10,8	4,3
Трахитовые и трахидацитовые порфиры	2,5	10,6	4,2
Конгломераты, песчаники, алевролиты	2,5	10,0	4,0
Базальты, их туфы	1,5	5,6	3,8
<i>Породы фундамента</i>			
Гранитоиды джидинского комплекса (PZ ₁)	2,9	13,8	4,8
Сиениты, граносиениты куналейского комплекса	7,2	29,6	4,1

* 2,5 – с преобладающей галькой пород основного состава; 7,5 – с галькой и валунами сиенитов и граносиенитов.

форм находится на глубине 1500–1800 м. Уменьшение концентрации урана в верхней части связано с выщелачиванием его низкотемпературными вулканогенными мезозойскими гидротермальными растворами и миграцией по сквозным тектоническим зонам из фундамента в породы кальдеры,

где он осаждался в благоприятных средах и в первую очередь в базальных горизонтах, содержащих углефицированные остатки флоры.

В рудообразующем процессе внутри кальдеры принимал участие также уран, содержащийся в стеклах вулканитов. При раскристаллизации

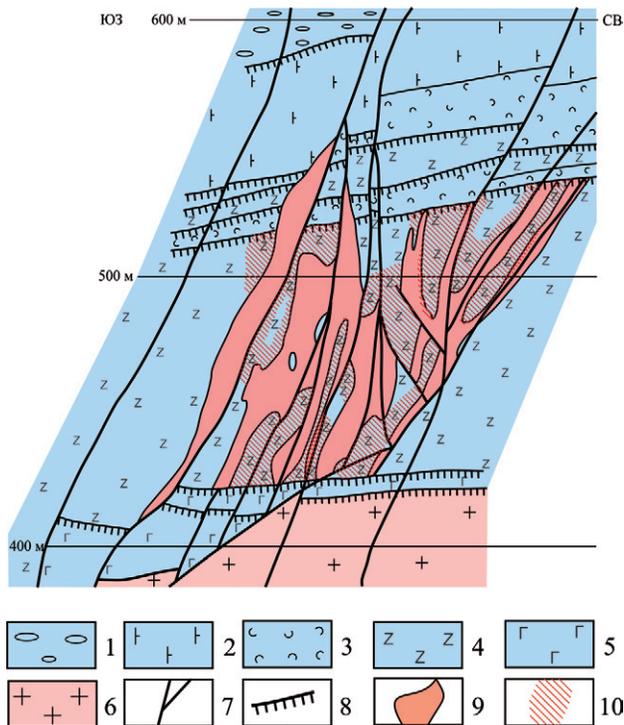


Рис. 1. Штокверковая морфология рудных залежей в покрове трахидацитов Стрельцовского месторождения. Геологический разрез по линии 113 + 50. По Л. П. Ищукowej и др., 2005

1 – конгломераты; 2 – базальты среднего покрова; 3 – туфы; 4 – трахидациты; 5 – базальты нижнего покрова; 6 – граниты фундамента; 7 – крутопадающие разломы; 8 – межслоевые нарушения; 9 – урановые руды; 10 – ореолы убогой урановой минерализации

он переходит в миграционную форму. Учитывая высокие концентрации в риолитах, трахидацитах, объемы подвижных форм урана могут быть значительными.

Более вероятными источниками урана в рудообразующих процессах Стрельцовской кальдеры являются внутрикоровые очаги кислой магмы. Рудообразование обусловлено эпигенетическими преобразованиями первичных концентраций различной природы.

Для месторождений Стрельцовской кальдеры характерны следующие особенности [3]:

- длительная активность магматических очагов от этапов гранитообразования в протерозой-палеозойское время до формирования ВТС;
- связь ВТС с фундаментом пронизаемыми зонами разрывных нарушений;
- проявленность в гранитоидах фундамента широких ореолов грейзенизации;
- развитие низкотемпературных гидротермальных изменений, охватывающих все вулканогенно-осадочные породы ВТС, а в разломных пронизаемых зонах гранитоиды фундамента;
- высокие концентрации урана в породах фундамента и вулканитах ВТС;
- интенсивно дифференцированное распределение урана в породах ВТС и фундамента.

Норанская ВТС. Другой пример сонахождения уранового оруденения в мезозойской вулканической структуре и ее фундаменте представлено месторождением Сланцевое. Оно расположено в юго-западной части Селенгинского потенциально

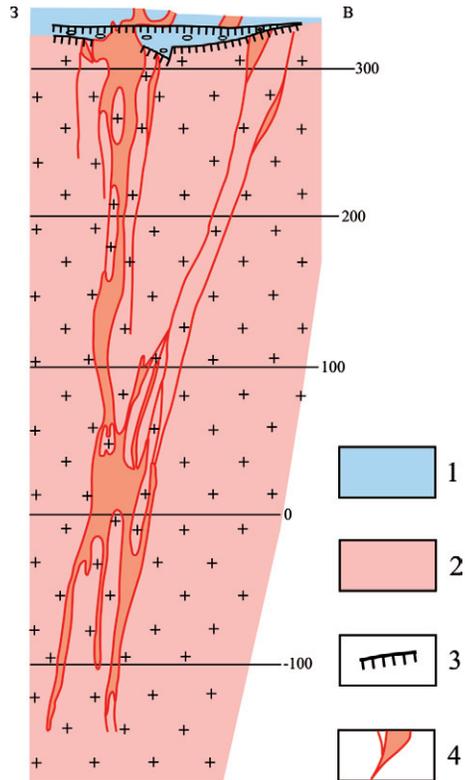


Рис. 2. Морфология основной жиллообразной залежи № 6а месторождения Антей. Геологический разрез по линии 633 + 50. По Л. П. Ищукowej и др., 2005

1 – конгломераты; 2 – граниты фундамента; 3 – межслоевые нарушения; 4 – урановые руды

урановорудного района в Норанской ВТС, которая находится в пределах блока земной коры, разбитого многочисленными разломами различной глубинности, что способствовало появлению высокопроницаемых зон, которые контролировали положение вулканических центров в мезозойское время [4, 7].

ВТС имеет двухъярусное строение. Нижний ярус сложен раннепалеозойскими слабометаморфизованными карбонатно-терригенными отложениями, среди которых распространены пачки углеродсодержащих терригенных и карбонатных пород. Эти отложения отнесены к темникской свите. Они прорваны граносиенитами и сиенитами верхнепермского возраста соготинского комплекса (Норанский массив). Верхний ярус представлен осадочно-вулканогенными образованиями ранне-среднеюрского возраста. Разрез яруса начинается базальными конгломератами, которые перекрыты пачкой туфопесчаников, содержащих углефицированные растительные остатки. Выше залегают покровы и туфы базальтов и трахибазальтов. В западной части вулканической структуры располагаются субвулканические образования трахит-трахидацитового состава. На юго-востоке структуры находится массив мелкозернистых граносиенитов предположительно позднеюрского возраста. Его образования в скважинах установлены на глубине под метатерригенными породами фундамента. Другие позднеюрские интрузивные образования представлены комплексом даек и малых интрузий мелкозернистых диоритов, сиенитов, гранодиорит-порфиров.

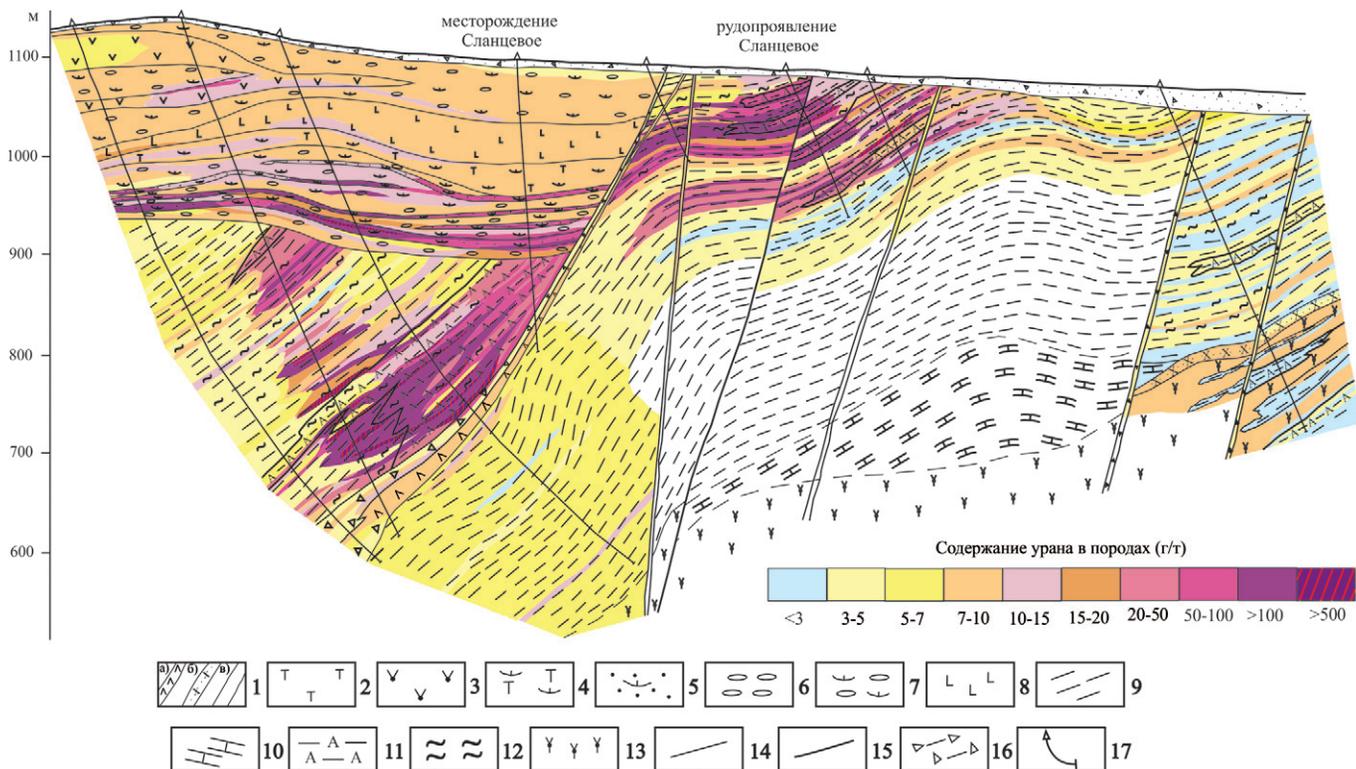


Рис. 3. Схематический радиогеохимический разрез (месторождение Сланцевое – рудопроявление Сланцевое)

1 – верхнеюрский комплекс даек и малых интрузий (*a* – дацитового и трахидацитового состава, *b* – диоритовых порфиров, *в* – долеритов); 2–8 – ичетуйская свита: 2 – трахиты, 3 – трахиандезиты, 4 – туфы трахитов, 5 – туфопесчаники, 6 – базальные вулканомиктовые конгломераты, 7 – туфоконгломераты, туфогравелиты, 8 – долериты; 9–13 – темникская свита: 9 – кварц-полевошпат-биотитовые сланцы, 10 – карбонатные сланцы, иногда мраморизованные, 11 – апосланцевые альбититы, 12 – углеродсодержащие сланцы, 13 – кварцевые и кварцсодержащие сиениты; 14 – геологические границы; 15 – разломы; 16 – брекчии в зонах разломов; 17 – поисково-разведочные скважины

Рудная специализация Норанской ВТС представлена ураном и флюоритом. Имеются также проявления молибдена и бериллия.

Руды уранового месторождения Сланцевое локализованы в породах верхнего структурного яруса и непосредственно под ними в отложениях нижнего яруса (рис. 3). В верхнем ярусе рудовмещающими являются базальные туфопесчаники с растительными остатками. В перекрывающих базальты оруденение не проникает. Рудные тела стратиформного вида.

Оруденение в фундаменте локализовано в метаморфических сланцах темникской свиты. Рудные тела тяготеют к горизонтам, содержащим углеродистое вещество в различных концентрациях, интенсивно измененных. На размещение урановых концентраций в фундаменте оказывает влияние также трещинная тектоника и гидротермально метасоматические изменения, что способствовало образованию жильно-штокверкового оруденения, субсогласного с залеганием вмещающих пород [4].

Зональность гидротермальных изменений в породах фундамента формировалась в результате полихронных и полигенных процессов. Метаморфизованные терригенные отложения на участках месторождений и рудопроявлений интенсивно изменены, иногда до полнопроявленных метасоматических тел. Широко распространены многокомпонентные гидротермальные ассоциации. В постметаморфический период породы были подвержены низкотемпературной альбитизации и отдельные участки метапород полностью замещены альбитом.

Процесс альбитизации протекал до внедрения граносиенитов соготинского комплекса, так как в них присутствуют ксенолиты альбитизированных сланцев. На следующем этапе гидротермального метасоматоза сформировалась совокупность ассоциаций, наложенных на альбититы (кварц, карбонат, серицит, гидрослюда, хлорит, эпидот, биотит). По составу ассоциации разделяются на две группы: березитоидную (кварц, серицит, карбонат, пеннин, шамозит) и пропилитовую (эпидот, цоизит, хлорит, карбонат). Последующие новообразования характеризуются жильной и прожилковой формами. Наиболее распространены карбонат и кварц. Более редки прожилки каолинита, альбита, калишпата (адуляра), цеолита, флюорита.

В углеродсодержащих прослоях углерод выделяется в двух формах – в виде линз и прослоев (вероятно, сингенетических) и образует прожилки, тонкие графитоподобные пленки на поверхности трещин (эпигенетический). С ними ассоциирует пирит, вкрапленный и пленочный.

В нижних горизонтах отдельных скважин на месторождении Сланцевое и рудопроявлении Гребнево зафиксированы хлорит-эпидот-амфиболовые ассоциации (амфиболовые пропилиты). Появление таких метасоматитов обычно наблюдается в обрамлении и надынтрузивных зонах массивов гранитоидов, из чего можно предположить, что эти рудные объекты располагаются над не вскрытыми эрозией гранитоидами.

Сиениты и граносиениты изменены незначительно. Среди новообразований в них присутствуют

альбит, мусковит и биотит. В зонах брекчирования на них наложены кварц-гидрослюдистые и карбонат-гидрослюдистые ассоциации. Присутствуют тела барит-флюоритового состава.

В верхнем ярусе, который на участках месторождения и рудопроявлений сложен конгломератами, туфопесчаниками с органикой, лавами и туфами базальтов, изменения проявлены менее значимо. В основных вулканитах и конгломератах главный новообразованный минерал – карбонат. В вулканитах появляются выделения биотита. Реже встречаются серицит-хлоритовые ассоциации, развивающиеся по цементу конгломератов. Интенсивно изменен горизонт туфопесчаников с урановым оруденением, которые замещаются карбонат-каолинит-гидрослюдистыми агрегатами.

Трахиты и трахидациты, расположенные на периферии ВТС, изменены по типу фельдшпатофилов (низкотемпературных кварц-альбит-калишпатовых парагенезисов). Фельдшпатофировые образования развиваются по основной массе в виде линз, неправильной формы гнезд. Локально, преимущественно вдоль зон тектонических нарушений, по фельдшпатофирам развиваются кварц-гидрослюдистые ассоциации (аргиллизиты).

По радиогеохимическим свойствам породы Норанской ВТС слабо специализированы на уран при неравномерном его пространственном распределении. На участках, отдаленных от рудных объектов, концентрации урана во всех разновидностях пород являются близкларковыми при нормальном (3–5) торий-урановом отношении. Лишь в локальных аномальных ореолах при повышении содержания урана это отношение значительно уменьшается. В центральной части ВТС, где размещаются месторождение Сланцевое и группа рудопроявлений, среднее содержание практически всех типов пород увеличивается в два-три раза выше кларка при устойчивом пониженном торий-урановом отношении (< 2). Также повышается неравномерность пространственного распределения урана. В метатерригенных отложениях темникской свиты среднее содержание урана составляет 4,5 г/т, а в отдельных прослоях углесодержащих сланцев увеличивается до 9,4 г/т. Повышенными концентрациями выделяются граносиениты (среднее 7,6 г/т) Норанского массива (таблица).

Рудолокализирующей средой в породах мезозойского чехла являются аргиллизированные туфопесчаники, насыщенные органикой. В фундаменте оруденение тяготеет к углеродсодержащим метапесчаникам и метасланцам, интенсивно гидротермально измененным. Практически все рудные концентрации урана располагаются в ореолах альбитизации, а рудовмещающей средой являются гидросерицит-хлоритовые зоны с пиритом. Кроме того, в региональной гидротермально-метасоматической зональности рудоносные зоны тяготеют к области сопряжения пропилилитовых и березитоидных зон, служащей геохимическим барьером, благоприятным для рудообразования.

Такая рудоконтролирующая обстановка характерна для многих месторождений Северного Казахстана – приуроченность к барьерной зоне пропилилитов и березитов, контроль углеродсодержащими породами. Рудоконтролирующими метасоматитами являются альбититы и березиты. Наиболее сходны с месторождением Сланцевое месторождения Грачевское, Дергачевское и Дубровское [6].

Гидротермальные изменения в породах фундамента на Сланцевом месторождении отсутствуют в отложениях верхнего яруса, т. е. они более ранние по отношению к становлению ВТС, как и процесс рудообразования. Оруденение же в ней возникло за счет выноса урана из рудных тел в фундаменте в связи с поствулканической гидротермальной деятельностью в юрское время и осаждением его на восстановительном барьере насыщенных органикой туфопесчаниках и туфогравелитах.

Для урановорудных объектов Норанской ВТС характерны следующие особенности:

- литологический контроль и размещение уранового оруденения;
- гидротермально-метасоматические изменения, включающие дорудную альбитизацию, рудовмещающие гидрослюдисто-хлоритовые метасоматиты в фундаменте, и аргиллизиты в верхнем ярусе;
- повышено содержание урана на участках рудных объектов в породах обоих ярусов на фоне пониженного торий-уранового отношения;
- умеренная дифференциация распределения урана по всей территории ВТС;
- досреднеюрское рудообразование урана, возможно, с последующим перераспределением на поздних этапах активизации. Появление доюрского оруденения в фундаменте дает основание предполагать обнаружение месторождений урана за пределами вулканических структур, аналогичных таковым в Северно-Казахстанской урановорудной провинции, где альбититовые (эйситовые) и березитовые метасоматиты рудоконтролирующие;
- пространственная сопряженность уранового оруденения в юрских терригенно-вулканогенных отложениях и метатерригенных породах фундамента.

На одном из участков Норанской ВТС (рудопроявление Гребневое) над рудными телами в фундаменте и в породах мезозойского чехла оруденение отсутствует, что можно объяснить значительной оторванностью по глубине от нижележащих руд (более 200 м до базальных конгломератов) или выпадением из разреза чехла туфопесчаников с растительными остатками.

При сопоставлении со Стрельцовским рудным полем в Норанской ВТС имеет место большое различие в составе пород верхнего и нижнего ярусов, другие гидротермальные изменения, разный уровень средних содержаний урана в породах, различная степень его дифференциации. Причина низких рудных концентраций урана и малые масштабы рудных тел, несмотря на довольно значительный геохимический ресурс урана в фундаменте, по-видимому, заключается в слабой проявленности поствулканической гидротермальной деятельности. Это связано скорее всего с «недоразвитостью» вулканической структуры и отсутствием мощного эксплозивно-эффузивного вулканизма.

Мухор-Талинская ВТС. Мухор-Талинская ВТС находится в восточной части Селенгинского потенциально урановорудного района и по морфологии представляет впадину, сложенную осадочно-вулканогенными образованиями средне-позднеюрского возраста, которые перекрыты меловыми базальтами и долеритами. Фундамент ВТС – разновозрастные гранитоиды различного состава, распространенные в обрамлении и в виде единичных в ней выступов. Выделяются три комплекса гранитоидов: раннепалеозойский джидинский, средне-верхнепалеозойский

бичурский и триас-раннеюрский куналейский. Последние два имеют близкие петрохимические характеристики и, возможно, являются фазовыми и фаціальными разновидностями. Гранитоиды джидинского комплекса слагают крупный батолит с гомодромным фазовым составом — от габбро-диоритов до биотитсодержащих гранитов. В этих гранитоидах присутствуют ксенолиты мраморов и кристаллических сланцев. В состав более молодых пород входят лейкократовые граниты, рибекитовые, эгирин-рибекитовые и эгириновые граносиениты и сиениты. Их прорывают дайки и штоки сиенит-порфиоров, лампрофиоров, мелкозернистых монзонитов.

Разрез Мухор-Талинской ВТС начинается, как практически во всех вулканических структурах Забайкалья, крупновалунногалечными конгломератами, среди обломков которых преобладают гранитоиды — лейкократовые и меланократовые граниты, гранодиориты, диориты, граносиениты, сиениты, лампрофиры. Над ними залегают туфопесчаники, туфогравелиты, туффиты. Выше разрез представлен лавами и туфами различного состава с пачками конгломератов, песчаников, алевролитов. В процессе становления ВТС наблюдается последовательная смена состава вулканитов от основных к кислым. Общей чертой состава всех вулканитов является повышенная щелочность.

Выше конгломератов разрез ВТС в восточной и западной частях различный. В восточной конгломераты перекрыты базальтами, трахибазальтами, их туфами, андезитами. Завершают разрез покровные и субвулканические фации трахидацитов и трахитов. Кислые вулканиты отсутствуют. В западной части на конгломератах залегают покровы и силлы трахитов и сиенит-порфиоров. Над ними располагаются туфы, лавокластиты, лавы риолитов, которые перекрываются покровами стекол кислого состава и флюидальными фельзитами. На отдельных участках на конгломератах непосредственно залегают лавокластиты и лавы риолитов.

Последняя фаза вулканической деятельности в Мухор-Талинской ВТС завершилась излиянием базальтовых лав в меловой период. Они образуют серию покровов в восточной части структуры. Среди крупных покровов располагаются субвулканические разности — долериты и габбро-долериты.

Вулканиты ВТС прорваны дайками, силлами долеритов, сиенит-порфиоров, трахитовых порфиоров.

Формирование ВТС на всех этапах происходило в условиях активной тектонической деятельности. Её заложению предшествовала интенсивное воздымание территории, которая имела разломно-блоковый характер, что привело к образованию расчлененного палеорельефа. Процесс прогибания основания структуры происходил в условиях восходяще-нисходящих движений, которые сопровождалась разрывными нарушениями разных порядков и направлений, расчленивших структуру на ряд блоков. Внутри блоков наблюдается интенсивная тектоническая проработка, что обусловило появление зон дробления, кливажа, катаклаза и других проницаемых структур. Наличие зон высокой проницаемости обеспечило активную миграцию растворов различной природы и интенсивное преобразование пород.

Наиболее ранние гидротермально-метасоматические изменения связаны с формированием

гранитоидных комплексов. В каждом из них в постинтрузивный период интенсивно проявлен кварц-альбит-микроклиновый высокотемпературный метасоматоз, который во времени сменился пропилизацией с выделением эпидота, хлорита, карбоната. В сиенитах и граносиенитах бичурского и куналейского комплексов, наряду с перечисленными минералами, распространены метасоматические щелочные амфиболы (рибекит, арфведсонит) и пироксены (эгирин, акмит). Процесс грейзенизации практически не проявлен ни в одном из комплексов, за исключением локально распространенных единичных чешуек мусковита в западной части ВТС среди гранитоидов джидинского комплекса и в куналейских граносиенитах.

Наиболее интенсивны гидротермальные преобразования в вулканитах. Каждому типу вулканических проявлений сопутствовали своеобразные изменения пород. Более поздние эпигенетические минералы накладывались на ранние. В базальтах и андезитах распространены хлоритовые, монтмориллонитовые, хлорит-эпидотовые ассоциации. Иногда им сопутствуют кварц, карбонат, селадонит, редко флюорит.

В трахитах и трахидацитах чаще всего развиты кварц, серицит и гидрослюды. Изредка появляются карбонат и хлорит. На отдельных участках, особенно в субвулканических разностях, проявлен низкотемпературный кварц-калишпатовый метасоматоз.

Интенсивно изменены риолиты, вулканические стекла, фельзиты и туфы этих пород. Типоморфный минералом в комплексе новообразований является цеолит. Чаще всего в ассоциации с ним установлены гидрослюды, монтмориллонит, реже кристобалит, адуляр, смектит, опал, кварц в криптоагрегатном виде. Эти минералы накладываются на трахиты и трахидациты, реже на вулканиты основного-среднего состава.

В общем виде в полях распространения риолитовой толщи ведущими типами изменений являются цеолитизация и аргиллизация. Состав сопутствующих минералов непостоянен. Кроме перечисленных выше, изредка к ним присоединяются пирит и флюорит.

В связи с меловыми базальтами гидротермальный метасоматоз очень слаб. На значительной части их распространения они не изменены. Среди новообразований незначительно развит биотит. Кристаллы оливина замещаются иддингситом.

Как и во многих рудоносных ВТС Забайкалья, в Мухор-Талинской структуре широко распространены аргиллизиты, служащие благоприятной предпосылкой для формирования уранового оруденения.

К радиогеохимической характеристике пород Мухор-Талинской площади следует добавить, что она не специализирована на уран. Среднее значение урана (местные кларки) для большей части пород заметно ниже кларков земной коры. Исключение составляют граносиениты и сиениты бичурского и куналейского комплексов. Превышают кларки земной коры концентрации урана в породах основного состава, причем в базальтах раннеюрского возраста кларк концентрации урана $\approx 3,0$, в меловых 1,6. Среди кислых вулканитов кларку урана земной коры соответствуют фельзиты — 3,5 и вулканические стекла — 3,0 г/т. В риолитах, их туфах, трахитах и трахидацитах, составляющих основной объем кислых и умереннокислых вулканитов, средние

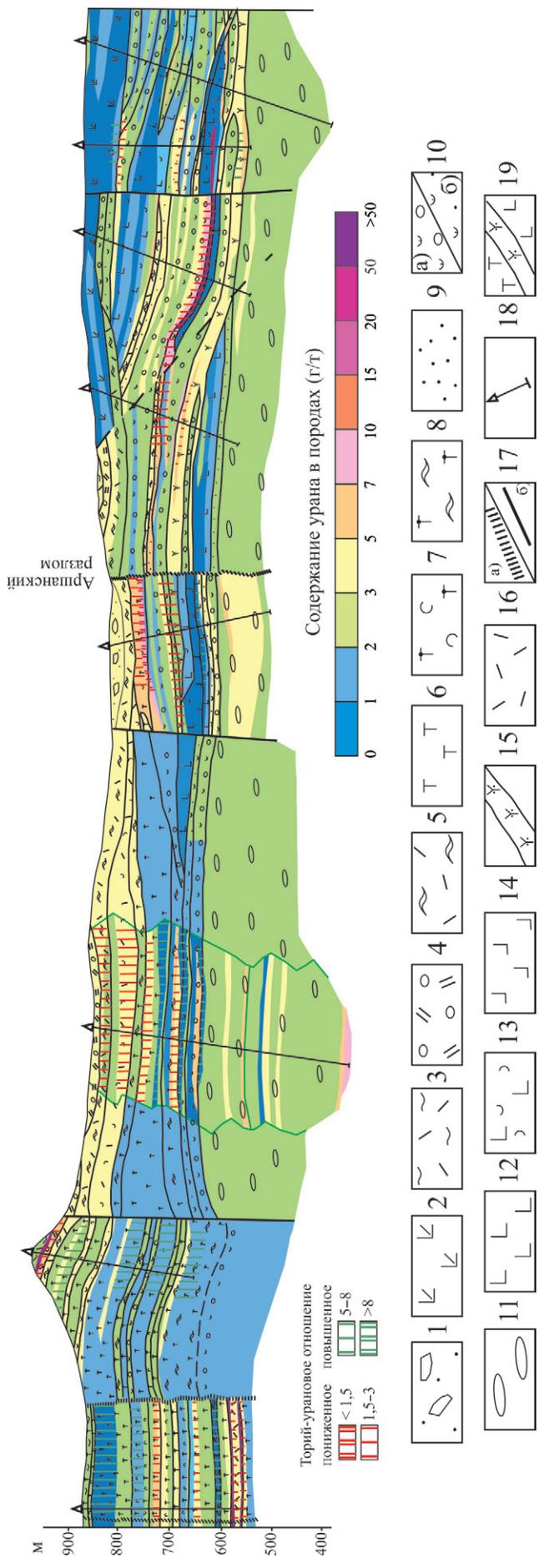


Рис. 4. Схематический радиогеохимический разрез северной части Мухор-Талинской ВТС

1 – четвертичные рыхлые отложения; 2 – меловые базальты с трахитоидной структурой; 3 – флюидальные фельзиты; 4 – вулканические стекла риолитов; 5 – лавокластиты (класолавы, лавобрекчи) фельзитов; 6 – трахиты, трахитовые порфиры, дацит-трахитовые порфиры; 7 – туфы трахитов и трахитовых порфиров; 8 – лавокластиты трахитов и трахитовых порфиров; 9 – песчаники; 10 – туфоконгломераты, туфогравелиты (а), они же с прослоями туфопесчаников (б); 11 – крупногалечные и валуногалечные конгломераты; 12 – базальты; 13 – туфы базальтов; 14 – долериты; 15 – сиенит-порфиры, трахитовые порфиры (жильные и субвулканические); 16 – кварцевые порфиры; 17 – глубоинные разломы (а) и прочие (б); 18 – поисковые скважины; 19 – границы геологических тел

концентрации урана составляют 2,4–2,5 г/т. В песчаниках и конгломератах местные кларки соответственно 2,3 и 2,5 г/т. В конгломератах концентрации урана повышаются в восточной части ВТС, где их галька состоит преимущественно из граносиенитов, и понижаются в западной в связи с участием в составе галек диоритов. В гранитах джидинского комплекса в среднем содержится 2,9 г/т, в сиенитах и граносиенитах бичурского и куналейского комплекса 7,2 г/т. Для всех групп пород характерны относительно низкие коэффициенты вариации содержаний – менее 50 % и нормальное торий-урановое отношение 3–4 (таблица).

В радиогеохимической зональности восточная часть ВТС значительно отличается от западной. В ней преобладают зоны с концентрациями урана от 1 до 3 г/т с немногочисленными локальными участками в трахитах, в которых его концентрации иногда достигают 7–10 г/т. В западной части основной фон создают породы с 2–5 г/т, довольно многочисленны участки в риолитах и трахитах со значениями 5–10 г/т и выше, образующие локальные ореолы (рис. 4).

В западной части располагаются два мелких рудопроявления урана и точечные проявления в зонах дробления различных пород. Одно из рудопроявлений находится по контакту стёкол и перекрывающих их фельзитов. Минеральная форма представлена урановыми слюдками. Второе приурочено к тектоническому контакту гранитов джидинского комплекса со стеклами и фельзитами. Рудопроявления близповерхностные. Рудовещающие в обоих рудопроявлениях – цеолит-аргиллизитовые метасоматиты, иногда насыщенные гидроокислами железа. Концентрации урана низкие. Оруденение незначительных масштабов и представлено урановыми слюдками. Имеются локальные пересечения в скважинах размером в несколько сантиметров, где содержание урана превышает 0,01 %. Оно контролируется зонами брекчирования, по которым развиты глинистые минералы. Несмотря на значительный объем бурения, выполненный в Мухор-Талинской ВТС, промышленных рудоконцентраций в ней не выявлено.

В Мухор-Талинской ВТС проявлены следующие металлотекты:

- благоприятная структурно-вещественная обстановка (состав пород, гетерогенность строения отдельных блоков, интенсивная тектоническая проработка пород);

- широкое развитие гидротермально-метасоматических изменений аргиллизитового типа в породах ВТС;

- в фундаменте присутствуют специализированные на уран граносиениты и сиениты, на которые наложен интенсивный кварц-полевошпатовый высокотемпературный метасоматоз.

Однако площади, занимаемые кислыми вулканитами, и их мощности незначительны. По сравнению со Стрельцовой кальдерой в зональности гидротермально-метасоматических изменений отсутствуют предшествовавшие гидрослюдизации альбититы. В специализированных на уран гранитоидах и сиенитах бичурского и куналейского комплексов нет проявлений грейзенизации, ответственной за возникающие в больших объемах подвижные формы урана, который мог быть задействован при рудообразовании в ВТС. В большей части пород фундамента и вулканитов Мухор-Талинской

ВТС низкие концентрации урана, на фоне которых слабо проявлена дифференциация его распределения. Площади зон умеренной дифференциации приурочены к полям развития кислых вулканитов и имеют незначительные размеры.

На фоне положительных геологических и гидротермальных критериев наличие перечисленных отрицательных факторов снижает вероятность формирования промышленных рудных концентраций за счет геохимических ресурсов фундамента и вулканитов ВТС. В такой ситуации для образования месторождений необходимы, как полагает Л. П. Ищукова, «мантийные источники», но признаков их проявления ни на поверхности, ни в скважинах (до 500 м) пока не установлено. Известные мелкие рудопроявления относятся к классу «бескорневых». Все это не позволяет Мухор-Талинскую ВТС относить к категории перспективных на обнаружение в ней урановых месторождениях.

Наиболее информативны и доступны для выявления урановых месторождений в ВТС следующие группы факторов:

- **геологические** – в фундаменте длительная активная история геологического развития; полихронный гранитоидный магматизм, в ВТС полный цикл вулканизма, от базальтов до риолитов. Наличие глубинных разломных зон и интенсивная тектоническая проработка пород, обеспечивающая проницаемость среды;

- **гидротермально-метасоматические** – в фундаменте интенсивный многоэтапный высокотемпературный (пневмолито-гидротермальный) кварц-полевошпатовый метасоматоз и грейзенизация. Последняя – фактор появления больших объемов миграционного урана, участвующего в рудообразующих процессах в фундаменте и породах ВТС. В ВТС обширные ореолы аргиллизитов и других низкотемпературных образований, благоприятных для рудообразования;

- **радиогеохимические** – значительный объем специализированных на уран пород в фундаменте и вулканитах ВТС, интенсивная дифференциация распределения урана с появлением зон привноса и выноса;

- **рудные** – наличие урановорудных объектов в фундаменте и сопряженных с ними рудных тел в ВТС.

Последние две группы факторов демонстрируют взаимосвязь ураноносности ВТС и её фундамента. Породы ВТС наследуют геохимическую и рудную специализацию подстилающих образований. Необходимое условие – широкое развитие процессов, способствующих переводу урана в миграционное состояние. Интенсивность процессов накопления урана в породах, его перераспределение, перевод в подвижное состояние и рудонакопление в благоприятных геологических обстановках являются производными различных геологических процессов в истории развития тектонических блоков, вмещающих вулканические структуры. Более рудоносные блоки с полихронным метаморфизмом, магматизмом, гидротермальным метасоматозом и другими особенностями, наблюдаемыми в Стрельцовском рудном поле.

Перечисленные закономерности размещения урана в ВТС и их фундаменте могут быть важными прогнозно-поисковыми факторами при предварительной оценке перспектив ураноносности ВТС.

Отсутствие или слабое проявление этих факторов существенно снижают перспективы обнаружения промышленного оруденения, как это видно на примере Мухор-Талинской ВТС. С другой стороны, как показывает пример Норанской ВТС, урановое оруденение, установленное в породах вулканической структуры, может служить индикатором наличия рудных тел в фундаменте. Фундамент не обязательно должен быть гранитоидным. Вероятными процессами появления подвижных форм урана в породах её фундамента могут быть преобразование углеродистого вещества в терригенных отложениях и метаморфизм первичных осадков. Возможно также воздействие гранитоидов на сланцы, наличие которых предполагается по появлению амфиболовых пропилитов на глубине под месторождением Сланцевое. Дифференциация распределения урана осуществлялась интенсивно проявленными гидротермальными изменениями.

Выявление обозначенных факторов возможно при анализе геологического строения конкретной вулканической структуры и фундамента, который может быть выполнен в камеральных условиях путем картирования гидротермально-метасоматической и радиогеохимической зональности, при котором устанавливаются благоприятные для возникновения миграционных форм урана метасоматиты, радиогеохимический фон и степень дифференцированности распределения урана. Перечисленные факторы в комплексе со структурно-вещественными, геофизическими и другими критериями позволяют провести предварительную оценку перспектив рудоносности вулкано-тектонических сооружений и их фундамента на ранних этапах опережающих геолого-геофизических работ.

1. *Абрамович И.И.* Глубинная геодинамика и металлогения урана. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. – 88 с.
2. *Ищуква Л.П., Модников И.С., Сычев И.В.* Урановые рудообразующие системы областей континентального вулканизма // *Геология рудных м-ний*. 1991. № 3. – С. 16–25.
3. *Ищуква Л.П.* Урановые месторождения Стрельцовского рудного поля в Забайкалье. – Иркутск, 2007. – 260 с.

4. *Михайлов В.А., Миронов Ю.Б., Дмитриев И.А., Демичева Л.А.* Структурно-вещественные условия рудо-локализации урана в Норанской ОКС (Селенгинский потенциально урановорудный район, Бурятия) // *Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: Информ. сборник*. – М., 2012. Вып. 158. – С. 53–61.
5. *Модников И.С., Сычев И.В.* Условия формирования оруденения в вулканических депрессиях проседания // *Геология рудных м-ний*. 1984. № 1. – С. 31–41.
6. *Петров Н.Н., Язиков В.Г.* и др. Урановые месторождения Казахстана (эндогенные). – Алма-Ата, 2000. – 532 с.
7. *Самович Д.А., Царук И.И.* и др. Минерально-сырьевая база урана Восточной Сибири. – Иркутск, 2012. – С. 99–101.
8. *Шаткова Л.Н., Шатков Г.А.* О возможном источнике рудного вещества уран-флюоритовых месторождений // *Геология рудных м-ний*. 1973. № 4. – С. 36–44.

1. Abramovich I.I. Glubinnaya geodinamika i metallogeniya urana [Deep-level geodynamics and uranium metallogeny]. St. Petersburg: St. Petersburg State University Printing House. 2004. 88 p.
2. Ishchukova L.P., Modnikov I.S., Sychev I.V. Uranium ore-forming system of areas of continental volcanism. *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*. 1991. No 3, pp. 16–25. (In Russian).
3. Ishchukova L.P. Uranovye mestorozhdeniya Strel'covskogo rudnogo polya v Zabajkal'e [Uranium deposits Streltsovsky ore field in the Trans-Baikal region]. *Irkutsk*. 2007. 260 p.
4. Mihajlov V.A., Mironov Yu.B., Dmitriev I.A., Demicheva L.A. Structural and material factors of uranium ore localization within Noranskoj OKS (Selenginsky potentially uranium ore region, Buryatia). *Informative Collection of Data on Geology of Uranium, Rare and Rare Earth Metal Deposits*. Moscow. 2012. Iss. 158. Pp. 53–61. (In Russian).
5. Modnikov I.S., Sychev I.V. Conditions of formation of mineralization in volcanic depressions sagging. *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*. Moscow. 1984. No 1, pp. 31–41. (In Russian).
6. Petrov N.N., Yazikov V.G. Uranovye mestorozhdeniya Kazahstana (ehndogennyje) [Kazakhstan uranium deposits (endogenous)]. Alma-Ata. 2000. 532 p.
7. Samovich D.A., Caruk I.I. Mineral'no-syr'evaya baza urana Vostochnoj Sibiri [Uranium mineral resources base of Eastern Siberia]. *Irkutsk*. 2012. Pp. 99–101.
8. Shatkova L.N., Shatkov G.A. A possible source of ore material uranium-fluorite deposits. *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*. Moscow. 1973. No 4, pp. 36–44. (In Russian).

Михайлов Виталий Алексеевич – ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ ¹. <Vitaly_Mikhailov@vsegei.ru>
Рассолов Александр Александрович – геолог, ВСЕГЕИ ¹. <Aleksandr_Rassolov@vsegei.ru>

Mikhailov Vitalij Alekseevich – Senior Researcher, VSEGEI ¹. <Vitaly_Mikhailov@vsegei.ru>
Rassolov Aleksandr Aleksandrovich – Geologist, VSEGEI ¹. <Aleksandr_Rassolov@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.