



## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АU-U МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

А. Е. Будяк, А. М. Спиридонов

Изучены нижнепротерозойские отложения Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоны, вмещающие золотоурановое месторождение Хадатканда. Проведены комплексные геохимические, минералогические, изотопные исследования пород и руд. Результаты свидетельствуют о том, что урановое и золотое оруденение являются одновременными и связаны с различными геодинамическими режимами. Источником радиоактивных элементов, вероятнее всего, служили нижележащие отложения кевактинской серии, имеющей распространение на всей территории Байкальской горной области. Полученные данные позволяют отнести золотоурановые месторождения исследуемой территории к типу «несогласия», что повышает вероятность обнаружения месторождений золота и урана на территории Байкальской горной области.

**Ключевые слова:** *зеленокаменные пояса, геохимия рудообразования, золото, уран, метасоматические преобразования.*

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF AU-U DEPOSITS IN THE NORTHERN TRANSBAIKALIA

A. E. Budyak, A. M. Spiridonov

The Kodar-Udokan structure-formational zone Lower Proterozoic sediments enclosing the Au-U Khadatkanda deposit are studied. Integrated geochemical, mineralogical, isotopic investigations of rocks and ores are conducted. The results indicate that the U and Au mineralization is associated with various temporal intervals and different geodynamic regimes. The source of radioactive elements was most likely represented by underlying sediments of the Kevakta Series, distributed throughout the whole Baikal mountain area. The obtained data enable researchers to refer Au-U deposits from the studied area to "unconformity" type. It increases the probability of Au and U detection in the Baikal mountain area.

**Keywords:** *greenstone belts, geochemistry of ore formation, Au (gold), U (uranium), metasomatic alterations.*

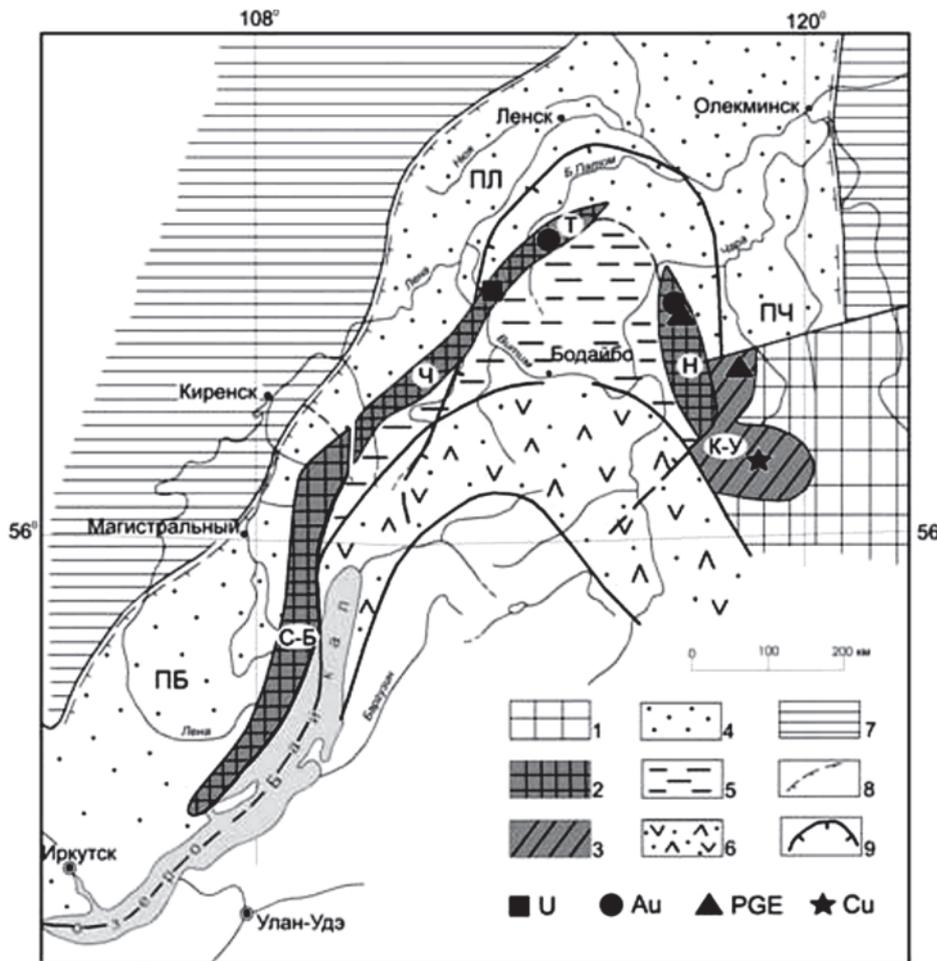
Генезис урановых и золотоурановых месторождений, приуроченных к выходам нижнепротерозойских отложений южного обрамления Восточно-Сибирской плиты, – острая дискуссионная проблема. Имеются две основных концепции их возникновения: эндогенного типа [3] и типа «несогласия» [1].

Выходы палеопротерозойских отложений обрамления Сибирской платформы (Тонодское, Нечерское поднятия, Кодаро-Удоканская структурно-формационная зона) имеют трехъярусное строение: архей-палеопротерозойский, палеопротерозойский и неопротерозойский ярусы. Наиболее продуктивен средний (палеопротерозойский), в составе которого содержится несколько углеродистых толщ палеопротерозойского возраста, по сути, являющихся единой углеродисто-терригенной формацией, возникшей, вероятнее всего, в условиях эпикратонного рифтогенного морского бассейна [6] (рис. 1). Эти отложения в разрезе Тонодского поднятия представлены албазинской и михайловской свитами, Нечерского – ходоканской свитой, а в Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоне – кодарской серией (икабийская, аянская и иннырская свиты), мы относим их к единой углеродисто-терригенной формации кевактинской серии [4, 5].

Институт геохимии СО РАН (Иркутск)

Отложения среднего яруса перекрываются несогласно залегающими высокоглиноземистыми песчано-сланцевыми осадками неопротерозоя. В пограничной части палео- и неопротерозойских отложений установлено большое количество золото- и урановорудных объектов, среди которых рассматриваемое в настоящей работе месторождение Хадатканда. Локализовано оно на пересечении Сюльбанского и Хадаткандского глубинных разломов, расположенных на юго-западной периферии Верхнесюльбанского магматического узла (рис. 2). Непосредственно рудные тела приурочены к зоне максимальной проработки терригенно-карбонатных отложений чинейской серии (александровская и бутунская свиты), залегающих согласно на породах кодарской серии.

Вскрытые на поверхности месторождения золотоурановые рудные тела образуют зону меридиональной ориентировки протяженностью около 3,5 км, со средним содержанием урана от 0,1 до 0,72 % [2]. Среднее содержание и запасы золота пока не оценены. Отложения кодарской (икабийская, аянская и иннырская свиты) и чинейской (читкандинская, александровская и бутунская свиты) серий в пределах рудного поля месторождения представлены осадочными породами близкого минерального состава с различным содержанием органического вещества [4].



**Рис. 1.** Схема структурно-формационного районирования Байкальской горной области (БГО) [4]

1 – дорифейские образования фундамента Сибирской платформы; 2 – выступы дорифейского фундамента в БГО (вулканоплутонические пояса: С-Б – Северо-Байкальский, Ч – Чуйский, Т – Тонодский, Н – Нечерский); 3 – Кодаро-Удоканская структурно-формационная зона; 4–6 – рифейские структурно-формационные зоны: 4 – внешние (ПЛ – Приленская, ПЧ – Причарская), внутренние: 5 – Мамско-Бодайбинская, 6 – Байкало-Мульская; 7 – фанерозойские отложения чехла Сибирской платформы; 8 – северная граница накопления рифейских образований; 9 – границы Ленского золотоносного района

**Рудная минерализация** на месторождении представлена в основном пирротинном, оксидами урана (уранинитом, настураном, урановой чернью), титанатами (сфеном, иттрокразитом) (рис. 3). Кроме того, в породе наблюдаются скопления тонковкрапленных пирита, пирротина, халькопирита с редкими знаками молибденита, висмутотеллуридов, галенита, алтаита или самородного свинца.

В ассоциации с халькопиритом и в непосредственной близости от него отмечаются включения золота (рис. 4). Микрозондовые исследования показали, что обнаруженные золотины представлены самородным золотом со средней пробностью 780 ‰.

Тесные сростания пирита-пирротина осложняются развитием более поздней урановой минерализации, представленной сетью параллельных тонких прожилков оксидов урана (см. рис. 3). Урановая минерализация имеет явно наложенный характер. Оксиды урана (уранинит, настуран) часто развиваются по трещинам и по периферии пирит-пирротинных агрегатов и нерудных минералов. Размеры единичных агрегатов менее 0,5 мм, мощность прожилков менее 0,2–0,5 мм.

Геохимические исследования проводились комплексом аналитических методов на базе ИГХ СО РАН (петрогенные элементы – РФА; редкие

и редкоземельные – ISP-ms; Au, Ag, ЭПГ – атомно-абсорбционный).

В результате изучения пород и руд золотоуранового месторождения Хадатканда все отобранные пробы были разделены на четыре основные группы: *БР* – безрудные наименее измененные породы чинейской серии в пределах рудного поля месторождения; *ЧС* – нерасчлененные черносланцевые отложения кодарской серии на незначительном удалении от рудной зоны месторождения; *руда-Au* – породы чинейской серии с повышенными содержаниями золота ( $\geq 0,3$  г/т); *руда-U* – породы чинейской серии с повышенными содержаниями радиоактивных элементов ( $U \geq 400$  г/т).

Анализ полученных результатов свидетельствует о геохимической специализации черносланцевых отложений кодарской серии, находящихся в ближайшем обрамлении месторождения, на группу благородных (Au, Pt, Pd) и радиоактивных (U, Th) элементов (рис. 5). Обращает на себя внимание значительное превышение в породах кодарской серии относительно стандарта NASC таких характерных для черносланцевых отложений элементов, как V, Cr и особенно Mo. Подобная закономерность прослеживается и для метасоматитов по породам чинейской серии в пределах месторождения. Отличие заключается лишь в увеличении содержаний сидерофильной группы (Mn,

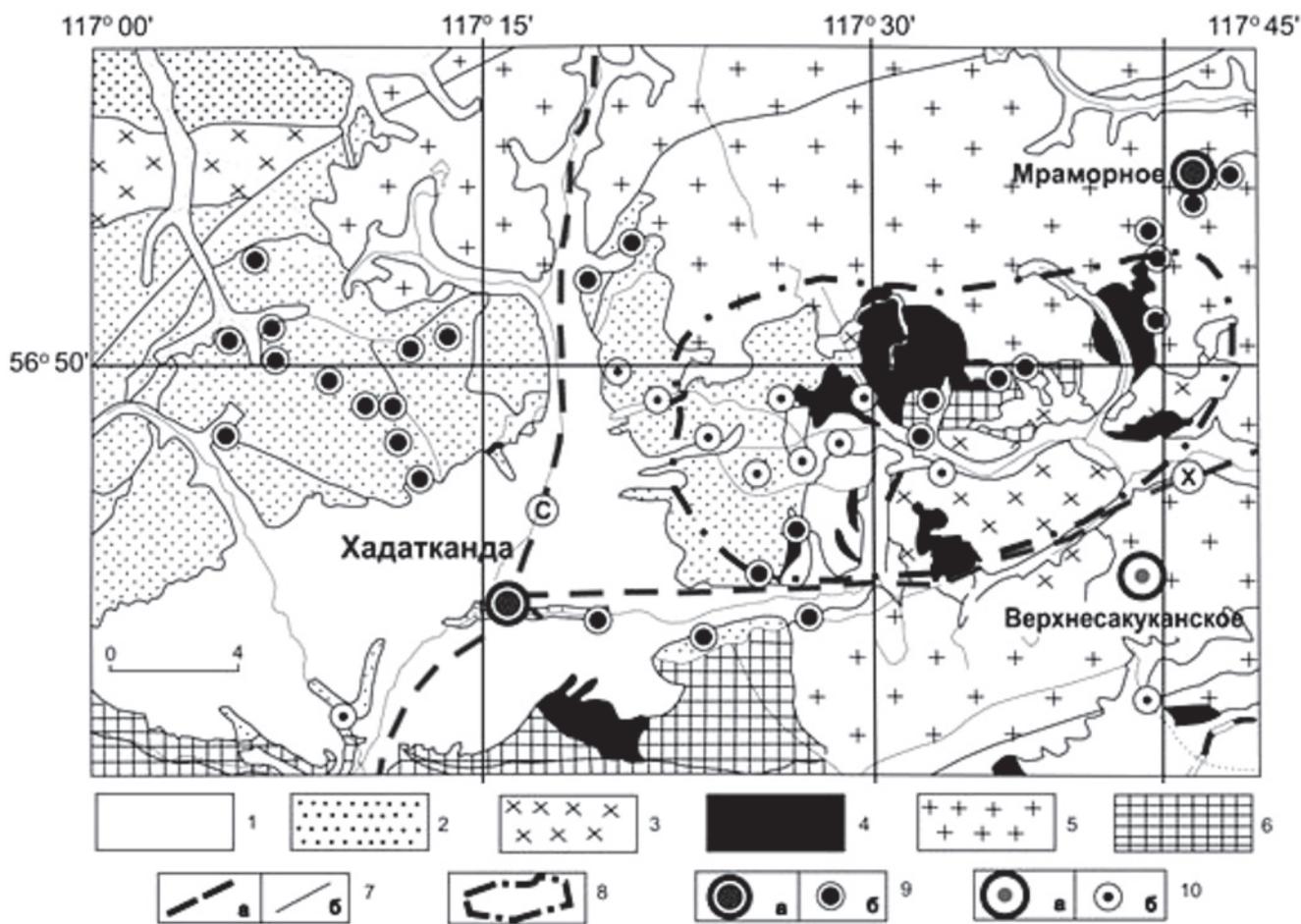


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Верхнесюльбанского магматического поля [2]

1 – четвертичные отложения нерасчлененные; 2 – палеопротерозойские карбонатно-терригенные отложения удоканского комплекса; 3 – позднепалеозойский ингамакитский комплекс монзонит-гранитовый; 4 – палеопротерозойский китайский комплекс габбро-норитовый; 5 – палеопротерозойский кодарский комплекс рапакиви-гранитовый; 6 – архейско-палеопротерозойские гранитоидно-метаморфические образования нерасчлененные; 7 – разломы главные (а) и второстепенные (б), в том числе С – Сюльбанский, Х – Хадаткандский; 8 – аномалия магнитного поля; 9 – урановые месторождения (а) и проявления (б); 10 – золоторудные месторождения (а) и проявления (б)

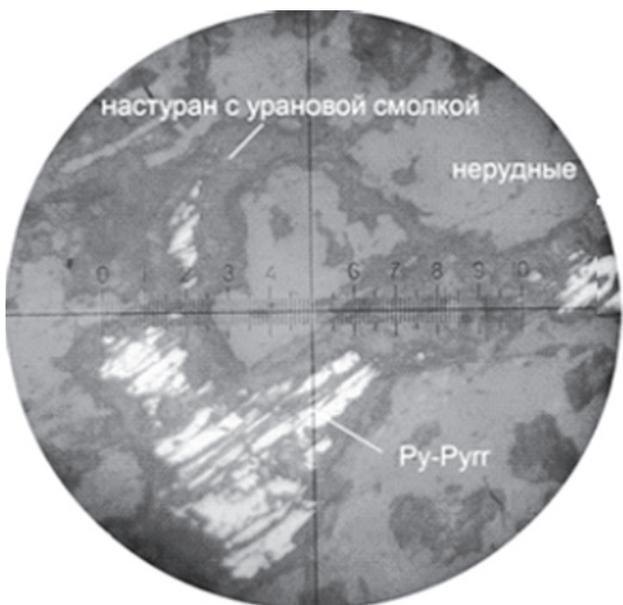
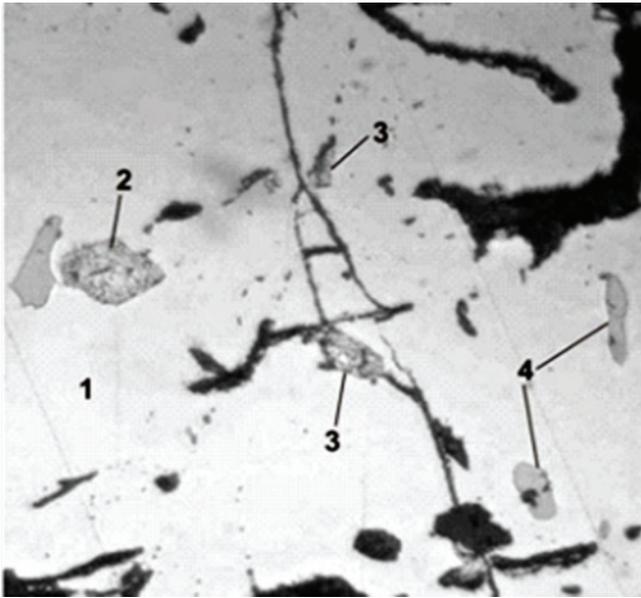


Рис. 3. Пирит с периферии и по параллельным трещинам замещается сложными агрегатами минералов урана (проходящий свет), поле зрения рисунка 0,54 мм

Co, Ni) и Y, что обусловлено наложенными метасоматическими процессами.

Результаты анализа метасоматически измененных пород на месторождении показали, что содержания основных компонентов месторождения Au и U, несмотря на принадлежность к одним и тем же отложениям, тем не менее геохимически не связаны (рис. 6). Коэффициент корреляции по выборке из 34 проб между Au и U в пробах с рудными содержаниями Au колеблется от -0,2 до 0,2, в пробах с рудными содержаниями U – от -0,3 до -0,37. В образцах с рудными содержаниями радиоактивных U и Th резко увеличивается количество Y, Mo, Pb и Pd.

Из распределений значений железомарганцевого ( $Fe_2O_3+FeO+MnO/TiO$ ) (ЖМ) и эксгальционного ( $MnO \cdot Zn \cdot Pb/TiO$ ) (ЭК) модулей (рис. 7) видно, что отложения кодарской серии, находящиеся на некотором удалении от месторождения, имеют повышенные значения ЭК модуля, указывающего на наличие эксгальтивной составляющей, и соответствуют породам, сформированным в условиях



**Рис. 4.** В пирите (1) наблюдаются тонкое золото: кристаллоподобное (ромбической формы) (2) и слабо вытянутое с прямыми ограничениями (3); присутствуют тонкие выделения халькопирита (4) (проходящий свет); поле зрения рисунка 0,2 мм

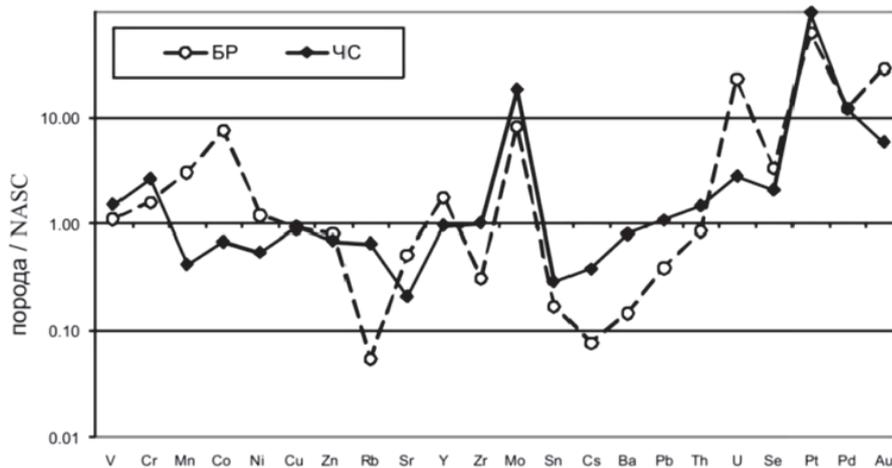
седиментации, сопровождавшейся синхронной гидротермальной деятельностью. ЖМ модуль для тех же образований не выявил высокотемпературной эндогенной составляющей гидротермального флюида на стадии осадконакопления. Соответ-

ственно, обнаруженная геохимическая специализация данной формации может быть следствием некоторой унаследованности химизма зеленокаменного пояса – фундамента для заложившегося рифтогенного прогиба.

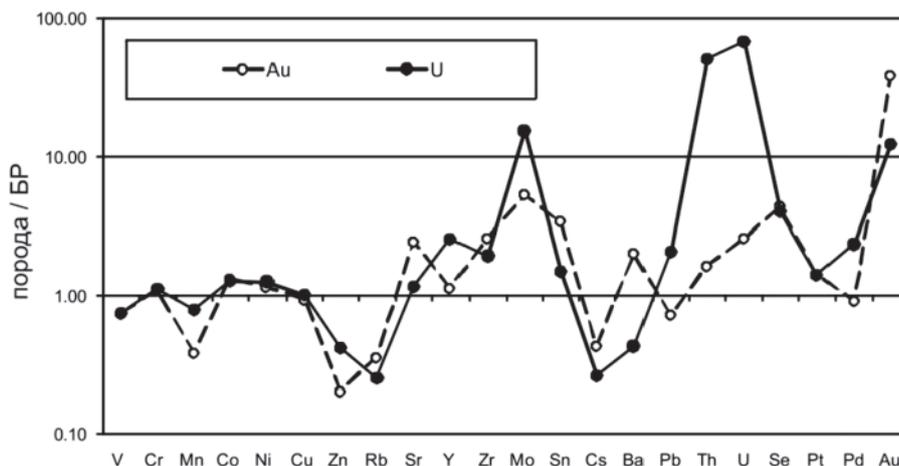
В метасоматически измененных отложениях чинейской серии рудной зоны месторождения незначительно увеличен показатель ЖМ, что указывает на ювенильный источник. В пробах с повышенным содержанием Au модуль ЭК имеет тенденцию к значительному снижению, а железомарганцевый показатель, напротив, резко увеличивается. Низкотемпературные халькофильные элементы (Zn, Pb) в этом процессе не участвуют. Пробы с рудным содержанием урана и тория демонстрируют кардинальные изменения в поведении рассматриваемых отношений. Среднее значение ЭК модуля возрастает до 2400, с единичными пробами, где оно превышает 3000.

В результате можно сделать следующие выводы.

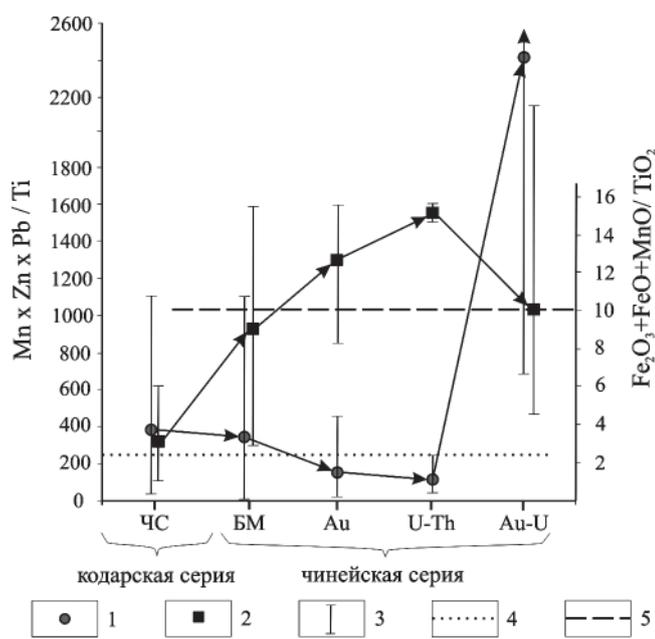
1. Геохимические показатели, приведенные в работе, подтверждают полигенное и полихронное формирование золотого и уранового оруденения месторождения Хадатканда. Вероятнее всего, накопление золота связано с заложением глубинного Сюльбанского разлома и, соответственно, имеет ювенильный источник. Урановая минерализация формировалась в результате



**Рис. 5.** Содержание редких элементов в наименее измененных породах месторождения Хадатканда: БР – безрудные метасоматиты чинейской серии; ЧС – черносланцевые отложения кодарской серии. Содержания химических элементов нормированы к стандарту NASC



**Рис. 6.** Содержание редких элементов в рудах чинейской серии месторождения Хадатканда: руда-Au – метасоматиты с рудными содержаниями золота; руда-U – метасоматиты с рудными содержаниями урана. Содержания химических элементов нормированы к безрудным метасоматитам БР



**Рис. 7.** Распределение железомарганцевого ( $Fe_2O_3 + FeO + MnO / TiO_2$ ) и эксгальтивного ( $MnO \cdot Zn \cdot Pb / TiO_2$ ) модулей в рудном поле месторождения Хадатканда. Среднее значение модуля: 1 – эксгальтивного, 2 – железомарганцевого; 3 – разброс значений; 4–5 – нижняя граница влияния гидротермального флюида по показателю: 4 – эксгальтивному, 5 – железомарганцевому

реактивации сюльбанской зоны при внедрении позднепалеозойских гранитоидов Сакуканского комплекса. Источником радиоактивных и сопутствующих урановому оруденению элементов, вероятнее всего, служили нижележащие отложения кодарской серии.

2. Участие палеопротерозойской углеродисто-терригенной формации, обладающей характерной геохимической специализацией, в эволюционном развитии региона с широко проявленными на разных этапах процессами мобилизации

и перераспределения рудных элементов позволяет рассматривать ее в качестве источника Au, U, Tr, ЭПГ, Cu и других компонентов как в Кодаро-Удоканской СФЗ, так на Тонодском и Нечерском поднятиях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН (интеграционные проекты 31, 27.2, 89).*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Андреева, О. В.** Катагенез терригенных пород в осадочных внутрикратонных прогибах позднего протерозоя и его влияние на формирование U-оруденения типа «несогласия» [Текст] / О. В. Андреева // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54, № 1. – С. 49–70.
2. **Макарьев, Л. Б.** Золотоносность урановых объектов в Кодаро-Удоканском прогибе [Текст] / Л. Б. Макарьев, С. К. Вояковский, И. В. Илькевич // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 56–64.
3. **Мигута, А. К.** Методические рекомендации по выделению и оценке районов, перспективных на выявление высокопродуктивного эндогенного уранового оруденения [Текст] / А. К. Мигута, И. С. Модников. – М., 1999. – 78 с.
4. **Новый** взгляд на происхождение медистых песчаников месторождения Удокан [Текст] / В. К. Немеров, А. Е. Будяк, Э. А. Развозжаева [и др.] // Изв. СО РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2009. – № 2 (35). С. 4–17.
5. **Перспективы** благородно- и редкометалльного оруденения нижнепротерозойских отложений на территории Байкальской горной области [Текст] / А. В. Паршин, В. А. Абрамова, В. А. Мельников [и др.] // Вестн. ИГТУ. – 2013. – № 3 (74). – С. 53–59.
6. **Федоровский, В. С.** Стратиграфия нижнего протерозоя хребтов Кодар и Удокан [Текст] / В. С. Федоровский. – М. : Наука, 1972. – 130 с.