

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗОНЫ
ХАДАТКАНДСКОГО РАЗЛОМА (СЕВЕРНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

*А.Е. Будяк¹, А.В. Паршин^{1,4}, Б.Б. Дамдинов², В.Н. Реутский³, А.М. Спиридонов¹,
М.Г. Волкова¹, Н.Н. Брюханова¹, Н.В. Брянский¹*

¹ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, ул. Фаворского 1А, г. Иркутск, 664033;
e-mail: budyak@igc.irk.ru

²ФГБУН Геологический институт СО РАН, ул. Сахьяновой ба, г. Улан-Удэ, 670047

³ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, пр-т акад. Коптюга 3, г. Новосибирск,
630090

⁴ФГБОУВО Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова. 83,
г. Иркутск, 664074

Поступила в редакцию 29 января 2014 г.

Объектом исследования является зона Хадаткандского разлома, локализованное в его пределах золото-урановое месторождение Хадатканда, а также отложения кодарской (икабийская, аянская и инырская свиты) и чинейской (читкандинская, александровская и бутунская свиты) серий, находящихся на значительном удалении от выше обозначенного района. Проведены комплексные геофизические и геохимические исследования пород и руд. Полученные результаты геохимических и минералогических исследований позволяют отнести месторождение Хадатканда к месторождениям инфильтрационно-эпигенетического генезиса. Установлено, что урановое и золотое оруденение являются разновременными образованиями и связаны с различными геодинамическими режимами. Золотое оруденение связано с заложением глубинного Сюльбанского разлома и имеет ювенильный источник. Более поздняя торий-урановая минерализация формировалась на этапе тектонического омоложения Сюльбанской зоны, где источником радиоактивных элементов, вероятнее всего, служили нижележащие отложения кодарской серии. Это подтверждается данными изотопных исследований. Для метасоматически измененных пород с повышенными содержаниями Au значения $\delta^{34}\text{S}$ составили +2...+4 ‰ CDT, что на 4 ‰ легче состава серы в пробах с рудными содержаниями U (+6...+8 ‰ CDT).

Анализируются возможности применения геофизических методов при исследовании Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоны, приводятся результаты выполненных работ методами пешеходной магнитометрии и гамма-радиометрии. Установлено, что условия криогенеза и обилие крупнообломочного каменного материала на рассматриваемой территории значительно затрудняют проведение распространённых методов геохимических и геофизических поисков. Наиболее перспективным методом при поисках как золотого, так и уранового оруденения на территории горных районов Кодаро-Удоканской зоны предлагается считать пешеходную магниторазведку. Полученная информация позволяет предположить перспективы обнаружения в исследуемом регионе на месторождениях Au и U еще и повышенные содержания элементов платиновой группы.

Ключевые слова: золото-урановые месторождения, геодинамика, черные сланцы, Верхнесюльбанский рудный узел, Северное Забайкалье.

Полезные ископаемые Сюльбанского района формируют основу минерально-сырьевой базы Кодаро-Удоканской минерагенической зоны. При детальной изученности региона генезис ряда месторождений остается дискуссионным, что затрудняет

формирование системы критериев поисков новых объектов.

В результате изучения территории Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоны (СФЗ) с региональных позиций [2, 10], а также проведения ком-

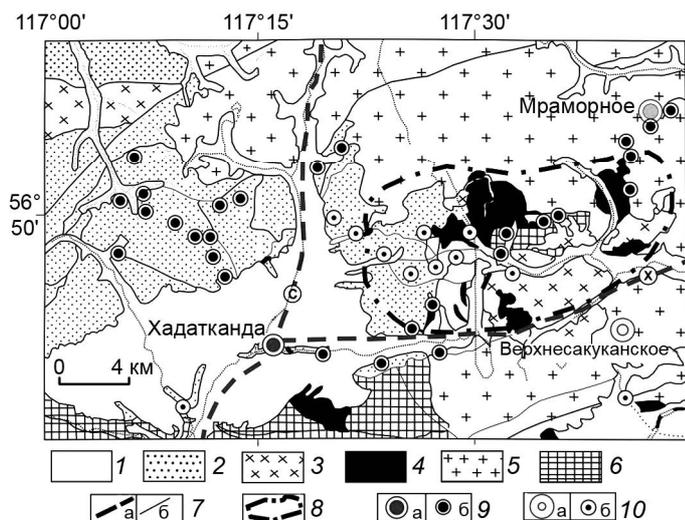


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Верхнесюльбанского магматического поля [8].

1 – четвертичные отложения нерасчлененные; 2 – позднепалеозойский ингамакитский комплекс монцонит-гранитовый; 3 – нижнепротерозойские карбонатно-терригенные отложения удоканского комплекса; 4 – раннепротерозойский чинейский комплекс габброноритовый; 5 – раннепротерозойский кодарский комплекс рапакиви-гранитовый; 6 – архейско-раннепротерозойские 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).

плексных исследований пород и руд месторождения Хадатканда появились данные, позволяющие отнести его к месторождениям инфильтрационно-эпигенетического генезиса.

Цель работы заключается в выявлении природы золотого и уранового оруденения месторождения Хадатканда и оценке перспектив применения различных геохимических и геофизических методов для поисков месторождений благородных, редких и радиоактивных металлов в пределах Кодаро-Удоканской СФЗ.

Было проведено детальное изучение территории Хадаткандского разлома и непосредственно месторождения Хадатканда. Определялась зависимость содержания золота, урана и других металлов от состава вмещающих пород, степени метаморфических, метасоматических преобразований, принадлежности к разновозрастной разломной тектонике региона. На основании геолого-геохимических построений выяснялось наличие генетической связи оруденения с нижележащими черносланцевыми отложениями кодарской серии, являющейся стратиграфическим аналогом кевактинской серии, имеющей широкое

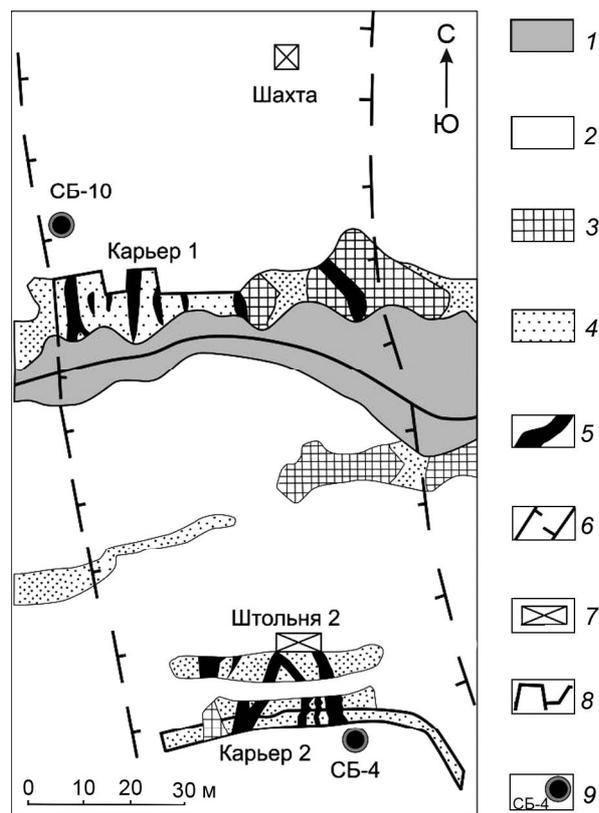


Рис. 2. Геологический план месторождения Хадатканда [8].

1 – современный аллювий; 2 – моренные отложения; 3 – габброиды измененные; 4 – альбититы, альбит-пироксен-амфиболовые метасоматиты, скарноиды; 5 – генерализованные рудные тела; 6 – границы Главной урановорудной зоны; 7 – штольня и шахта, пройденные Ермаковским рудоуправлением; 8 – карьеры, пройденные Мангышлакской экспедицией; 9 – рудоотвалы.

распространение в пределах золотоносных районов южного и восточного обрамления Северо-Азиатского кратона [12].

В структурном плане месторождение Хадатканда находится на пересечении двух глубинных разломов Сюльбанского и Хадаткандского, расположенных на юго-западной периферии Верхнесюльбанского магматического поля (рис. 1), образованного крупным массивом габброноритов рудопродуктивного чинейского комплекса раннего протерозоя и многофазными (от габбро до гранитов) позднепалеозойскими интрузиями [7, 8]. Непосредственно месторождение приурочено к интенсивно измененным терригенно-карбонатным породам чинейской серии (александровская и бутунская свиты), прорванным дайками габброидов.

Оруденение имеет слепой характер, вскрытые горными работами 50-х годов прошлого века золото-урановые рудные тела месторождения представляют собой линзы мощностью порядка 5 м и более, которые

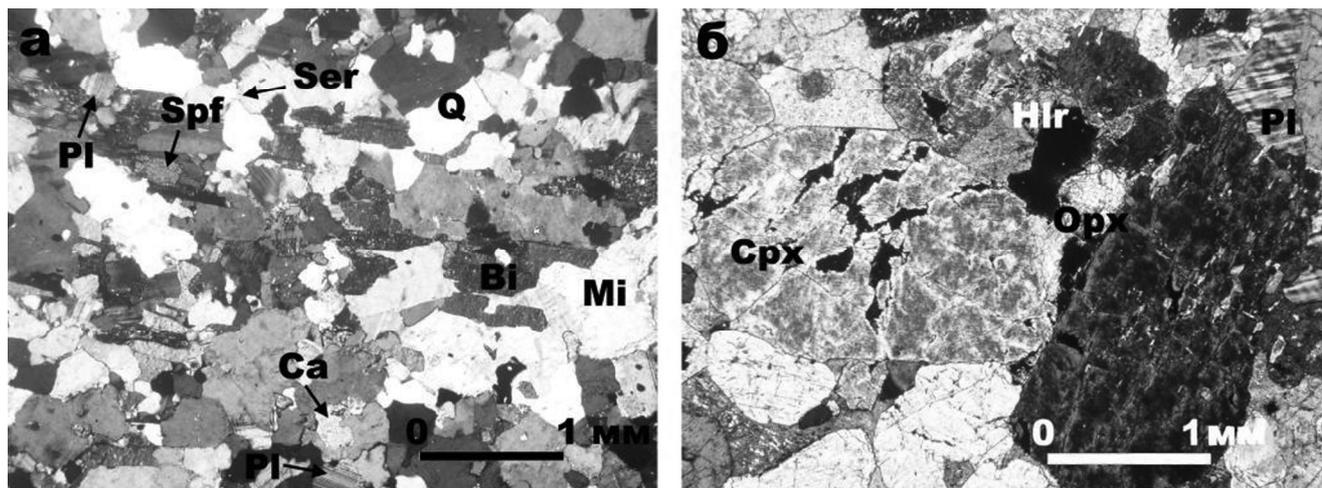


Рис. 3. а – слюдисто-полевошпат-кварцевый алевропесчаник неизменный. Структура лепидогранобластовая. Кварц (Q), биотит (Bi), плагиоклаз (Pl), микроклин (Mi), сфен (Spf). Контактный серицитовый цемент (Ser). Наложенный карбонат (Ca); б – вебстерит неизменный. Структура панидиоморфнозернистая. Клинопироксен (Cpx), ортопироксен (Opx), плагиоклаз (Pl) и наложенный пеннин (Hlr). На обоих фото николи ×.

образуют зону меридиональной ориентировки протяженностью около 3.5 км (рис. 2), с содержанием урана от 0.1 до 1.6 %. Содержание золота колеблется в пределах 0.00n – 2.1 г/т (среднее содержание по выборке 230 проб ~ 0.25 г/т). Оценка запасов на данный момент не производилась ни по радиоактивному, ни по благороднометалльному сырью.

В пределах месторождения, а также на удалении от него, были опробованы отложения кодарской (икабийская, аянская и инырская свиты) и чинейской (читкандинская, александровская и бутунская свиты) серий. Породы кодарской серии представлены преимущественно слюдисто-кварцевыми песчаниками и алевролитами с различным содержанием органического вещества [2, 10].

Рудовмещающими на месторождении Хадатканда являются породы чинейской серии, залегающие на отложениях кодарской серии. Они представлены слюдисто-кварцевыми, слюдисто-полевошпат-кварцевыми, плагиоклаз-кварцевыми, полевошпат-кварцевыми песчаниками, алевропесчаниками (рис. 3 а), алевросланцами и сланцами, которые прорваны разнообразными телами габброидов, вебстеритов (рис. 3 б), оливиновых вебстеритов, плагиоверстеритов, плагио-клинопироксенитов, плагиоверлитов.

В пределах месторождения наблюдаются породы, преобразованные в условиях полистадийного метасоматоза. В результате прорудных изменений породы частично или полностью превращены в разнообразные щелочные и субщелочные железо-

магнезиально-кальцевые метасоматиты. На участках катаклаза, брекчирования и дробления породы значительно сульфидизированы.

Проявление щелочного метасоматоза на месторождении происходило в несколько стадий. На ранней стадии образуются альбит-олигоклазовые, плагиоклаз-пироксеновые (рис. 4 а), плагиоклаз-амфибол-пироксеновые и плагиоклаз-амфиболовые метасоматиты. Пироксены представлены эгирином, эгирин-авгитом, диопсидом, иногда встречается геденбергит. Во всех породах присутствуют актинолит, реже тремолит; акцессорные – апатит и сфен. На более поздней стадии, с которой в пределах месторождения ассоциируется сульфидизация, происходит микроклинизация и альбитизация, образование биотита и амфиболов щелочного ряда.

В ураноносных метасоматитах значительно проявлены процессы хлоритизации, карбонатизации (рис. 4 б) и серицитизации, кроме того присутствуют наложенные эпидот и цоизит. В золотоносных метасоматитах этим процессам предшествует окварцевание, в то время как количество хлорита и карбонатов заметно снижается (рис. 4 а). Породы сильно брекчированы, катаклазированы, смяты, пронизаны тонкими прожилками, которые заполнены крипнокристаллическим и мелкозернистым карбонатом, иногда серицитом (рис. 4 а). Карбонат встречается также в виде отдельных зерен неправильной формы. Серицит часто переходит в мусковит и замещает, как правило, плагиоклаз. В рудных минералах золотоносных ме-

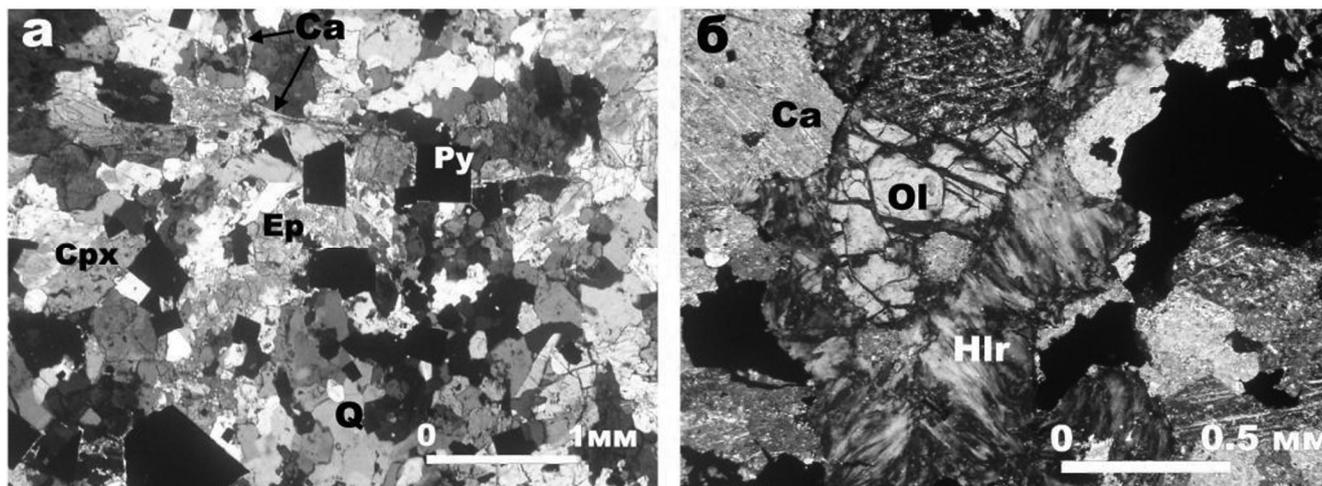


Рис. 4. а – золотоносный плагиоклаз-пироксеновый метасоматит окварцованный (Q) с пиритом (Py), наложенный эпидот (Ep). Карбонат (Ca) в виде тонких криптокристаллических и мелкозернистых прожилков. Николи \times . Образец Xg12-30.

б – ураноносный карбонат-хлоритовый метасоматит с реликтами оливина (Ol). Карбонат (Ca), хлорит (Hlr). Черного цвета – рудный минерал. Николи \times . Образец Xg12-12.

тасоматитов отмечаются трещины, заполненные карбонатным веществом с настураном. Такие минеральные взаимоотношения свидетельствуют о том, что процесс карбонатизации с урановой минерализацией является процессом постзолоторудным. В золотоносных породах проявлены метасоматические изменения березитового, а в ураноносных – преимущественно пропилитового парагенезиса (рис. 4 б).

Рудная минерализация исследованных образцов представлена, в основном, крупными пирит-пирротиновыми агрегатами и оксидами урана (уранинитом, настураном, коффинитом, урановой чернью). Мелковкрапленная рассеянная минерализация наблюдается реже и представлена пиритом, пирротином, халькопиритом, отмечены знаки молибденита, галенита, алтаита. Золото встречается в теллуридной и самородной формах.

Минералы урана можно разделить на 2 генерации:

- ранняя, встречающаяся в виде пятнистых выделений тонковкрапленных агрегатов уранинита и браннерита в метасоматитах, окруженных радиоактивными «двориками» (рис. 5а). Появление шеелита в этой ассоциации свидетельствует о более высокотемпературных условиях ее образования, нежели наложенной радиоактивной минерализации поздней генерации.

- более поздняя урановая минерализация представлена изометричными выделениями настурана, уранинита и коффинита. Оксиды урана часто обра-

стают более ранние выделения уранинита, образуют совместные колломорфные агрегаты (рис. 5 а), а также развиваются по трещинам и по периферии пирит-пирротиновых агрегатов (рис. 5 б).

Сульфидная минерализация также образована в 2 этапа. Основная часть золота связана с ранним этапом сульфидизации, которая представлена в значительной степени корродированными агрегатами пирит-пирротина никель-кобальтистого состава (рис. 6 а). Вместе с ними наблюдаются теллуриды свинца типа алтаита. По трещинам и по периферии данных образований развиваются тонкие каемки пирита-марказита с оксидами урана (рис. 5 б), с редкими реликтами первичного пирротина. Наряду с ними, наблюдаются более поздние слабо корродированные ксеноморфные выделения пирротина, размером не более 1 мм.

В ассоциации с ранними агрегатами пирита отмечается халькопирит, развивающийся по трещинам в нем либо в виде овальных гипидиоморфных выделений, образуя сращения с петцитом (рис. 6 б).

Золото наблюдается в основном в самородном состоянии, а также в виде теллуридов, часто в ассоциациях с минералами урана и сульфидами раннего этапа. Такие выделения наблюдаются в массе метасоматически измененных пород различных этапов и в зоне цементации между их мелкими брекчированными обломками. Размеры выделений изменяются в интервале от 5 до 40 мкм.

В массе нерудных минералов в единичных случаях были установлены мелкие серо-голубоватые

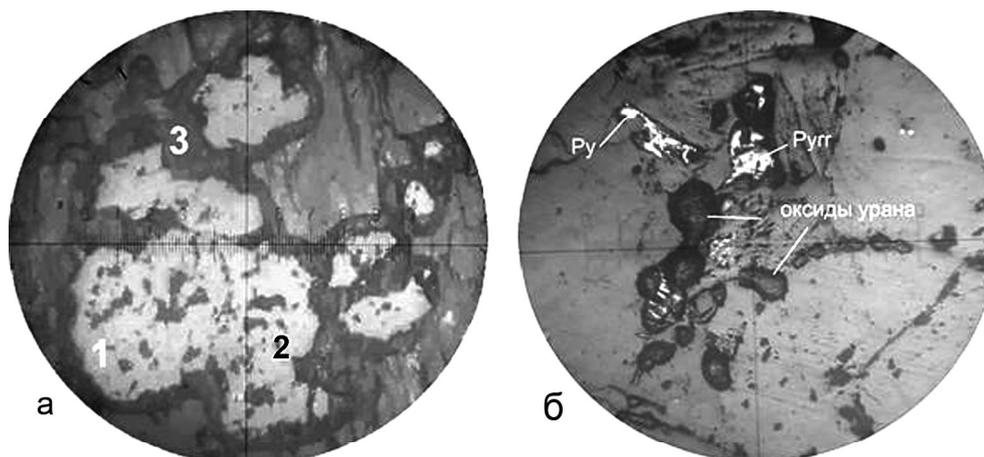


Рис. 5. а – аллотриоморфные выделения браннерита (незначительный коричневатый оттенок) (1) с уранинитом (2), по периферии развиваются каемки урановой черни (3); б – минералы урана (смесь уранинита, настурана, урановой черни) наблюдаются в виде вкраплено-прожилковидных выделений в нерудных, ассоциируют с пиритом (Py) и пирротинном (Pyrh), замещая их. Микроскоп. Николи II. Поля зрения рисунков: а – 0.2 мм; б – 0.54 мм.

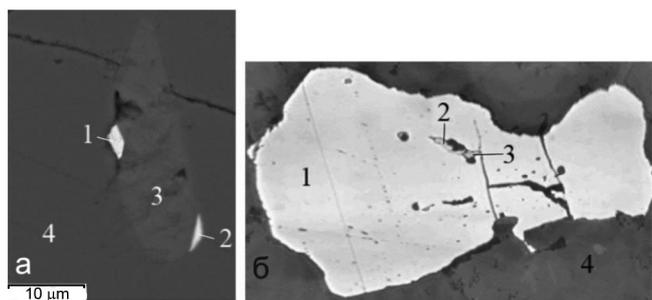


Рис. 6. а – морфология выделений самородного золота (1) и алтаита (2) в зерне кобальт-никелистого пирротина (3), заключенного в пирите (4); б – в корродированном, трещиноватом агрегате пирита (1) по трещине отмечено тонкое прожилковидное выделение халькопирита (2) с петцитом (3). Микроскоп. Николи II. Поле зрения рисунка – 0.48 мм.

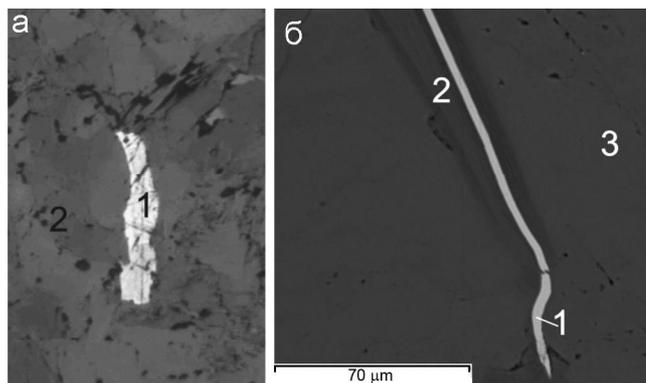


Рис. 7. а – мелкая чешуйка молибденита (1), в кальците (2). Микроскоп, николи II. Поле зрения рисунка – 0.9 мм. б – прожилковидное выделение молибденита (1) в хлорите (2), приуроченных к пириту поздней генерации (3).

чешуйки молибденита (рис. 7). Характерно, что количество зерен молибденита прямо пропорционально содержанию в образце урана.

При геохимическом исследовании рудовмещающих пород и непосредственно руд месторождения были проведены определения: петрогенных элементов рентгено-флуоресцентным методом; Au, Ag, Pt, Pd – методом атомно-абсорбционной спектрометрии; прочих редких и редкоземельных элементов – методом ICP-MS. В результате все отобранные пробы были разделены на 4 основные группы: БР – безрудные, наименее измененные породы чинейской серии в пределах рудного поля месторождения; ЧС – чер-

носланцевые отложения кодарской серии на незначительном удалении от рудной зоны месторождения (верхнее течение р. Сюльбан); руда-Au – породы чинейской серии с повышенными содержаниями золота (≥ 0.3 г/т), отобранные в пределах месторождения; руда-U – породы чинейской серии с повышенными содержаниями радиоактивных компонентов ($U \geq 400$ г/т), отобранные в пределах месторождения. В последних двух группах исследован изотопный состав серы рассеянных сульфидов, содержание которых в этих объектах составляет 1–2 %.

Анализ полученных результатов свидетельствует о геохимической специализации черносланце-

вых отложений кодарской серии на группу благородных (Au, Pt, Pd) и радиоактивных (U, Th) элементов (рис. 8). Важно отметить повышенные содержания Pt и Pd (0.0x–0.x г/т) как в неизменных черносланцевых отложениях кодарской серии, так и в метасоматически измененных породах чинейской серии. Такая геохимическая ассоциация свидетельствует, прежде всего, о связи ЭПГ с $C_{орг}$ [1, 9], приобретенной на стадии седиментации и участвующей при последующем рудогенезе.

Обращает на себя внимание значительное превышение в породах кодарской серии относительно стандарта NASC [13] таких характерных для черносланцевых отложений элементов, как V, Cr и особенно Mo. Подобная же закономерность прослеживается и для метасоматитов по породам чинейской серии в пределах месторождения, отличие заключается лишь в увеличении содержаний сидерофильной группы (Mn, Co, Ni), а также Y, что продиктовано наложенными метасоматическими процессами.

Результаты анализа метасоматически измененных пород, отобранных в пределах месторождения из рудоразборок № 10 и № 4, показали, что аномальные содержания основных полезных компонентов месторождения Au и U, несмотря на их концентрирование в одной и той же толще пород, тем не менее, геохимически не связаны (рис. 9). Корреляционный анализ, который проводился по выборке из 34 проб рудной зоны, показал, что КК между Au и U, в пробах с рудными содержаниями Au колеблется в пределах -0.2 – +0.2, а в пробах с рудными содержаниями урана – -0.3 – -0.37.

Кроме того, характерной особенностью рудовмещающих пород и руд месторождения является резкое увеличение содержания REE до 350–370 г/т в пробах с рудным содержанием урана относительно таковых как для безрудных метасоматитов в пределах месторождения, так и для черносланцевых толщ кодарской серии в пределах рудного поля (соответственно, 175 и 190 г/т). На фоне такого значительного колебания содержаний REE для проб с повышенным содержанием радиоактивных элементов наблюдается однозначный тренд снижения концентраций REE в образцах с рудным содержанием золота (рис. 10 а). Из графика видно, что, несмотря на снижение концентраций лантаноидов для проб с повышенным содержанием Au, характер распределения REE практически повторяет таковой для наименее измененных пород. Из этого следует, что рудоносные флюиды, принесшие золотую минерализацию в рудную зону месторождения, практически не имели редкоземельной нагрузки. И напротив, в пробах с повышенными содержаниями U и Th кроме резкого увеличения концентрации REE отмечается изменение рисунка спектра. Необходимо отметить тот факт, что максимальные содержания REE (до 800 г/т) наблюдались в пробах с ураганскими содержаниями U (до 16000 г/т).

Обращает на себя внимание полное совпадение в пределах месторождения распределения REE неизмененных черносланцевых пород кодарской серии и наименее измененных метасоматитов александровской и бутунской свит месторождения Хадатканда (рис. 10 а) с распределением REE отложений этого же стратиграфического яруса, располагающихся на зна-

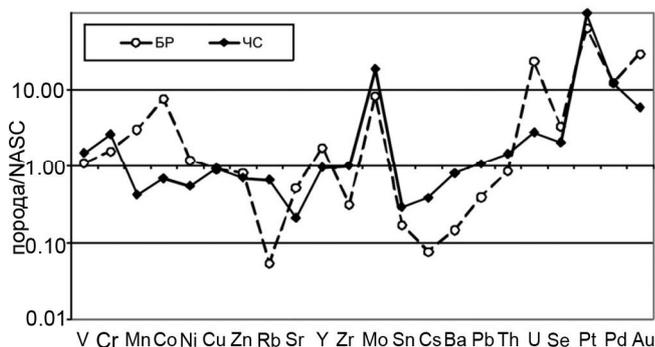


Рис. 8. Содержание редких элементов в наименее измененных породах месторождения Хадатканда.

БР – безрудные метасоматиты чинейской серии, ЧС – черносланцевые отложения кодарской серии. Фигуративные точки показывают отношение содержаний химических элементов к стандарту NASC [13].

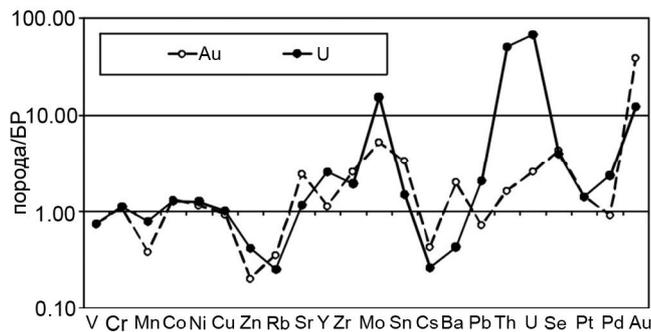


Рис. 9. Содержание редких элементов в рудах чинейской серии месторождения Хадатканда.

Руда Au – метасоматиты с рудными содержаниями золота; руда-U – метасоматиты с рудными содержаниями урана. Фигуративные точки на графике показывают отношение к безрудным метасоматитам БР.

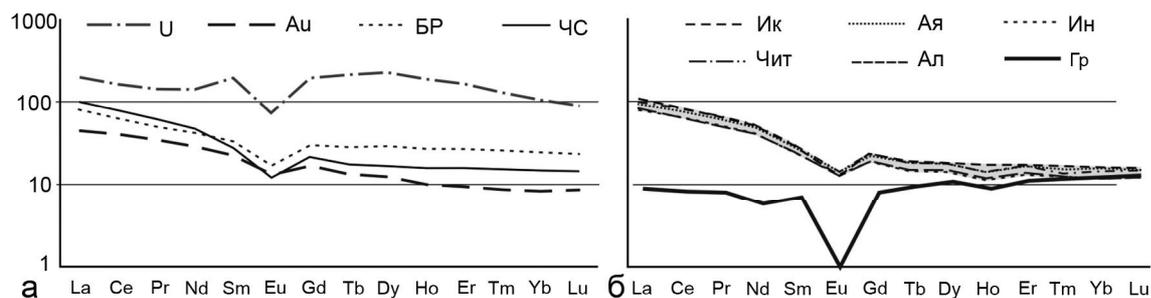


Рис. 10. а – спектры распределения REE в породах и рудах месторождения Хадатканда. U – метасоматиты с рудными содержаниями урана, Au – метасоматиты с рудными содержаниями золота, BP – безрудные метасоматиты чинейской серии, ЧС – черносланцевые отложения кодарской серии; б – спектры распределения REE в породах кодарской и читкандинской подсерий. Свиты: икабийская (Ик), аянская (Ая), иннырская (Ин) читкандинская (Чи), александровская (Ал); ГР – граниты сакуканского комплекса. Нормировано по хондриту [14].

чительном удалении от месторождения (рис. 10 б), в пределах р. Ниж. Ингамакит.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изложенные выше факты дают основание утверждать полигенный и полихронный генезис Au-U месторождения Хадатканда.

Можно предположить влияние вмещающих отложений кодарской и низов чинейской серий, имеющих лито-халькофильную специализацию, на формирование урановой минерализации непосредственно изучаемого месторождения.

Полученные минералого-петрографические данные по вещественному составу руд месторождения также подтверждают вывод о том, что урановое и золотое оруденение являются разновременными и, вероятнее всего, связаны с различными геодинамическими событиями и, соответственно, метасоматическими процессами. Золотое оруденение отчетливо коррелирует с зонами окварцевания, серицитизации и сульфидизации (березитовая ассоциация), тогда как урановая минерализация увязывается с наложенной пропицитизацией пород. В то же время установлено, что, по крайней мере, часть золота отлагалась на ранней стадии рудного процесса и имела ювенильный источник, о чем свидетельствует ассоциация Au с кобальт-никелистым пирротинном, который замещается более поздним пиритом, и присутствием более высокотемпературных алтаита и шеелита. Обозначенная ассоциация, в свою очередь, корродируется агрегатами оксидов урана (уранинит, коффинит, настуран).

Перечисленные геохимические и минералогические особенности нашли подтверждение и при исследовании изотопных характеристик серы исследуемых отложений. Так, для метасоматически измененных

пород с повышенными содержаниями Au значения $\delta^{34}\text{S}$ составили +2 – +4 ‰ CDT, что на 4–6 ‰ легче составов серы в пробах с рудными содержаниями U (+6 – +8 ‰ CDT). Аномально «легкая» сера в пределах месторождения и связанная с ней золоторудная минерализация приурочены к зонам брекчирования и катаклаза, соответственно, увеличение в составе сульфидов ^{33}S , вероятнее всего, обусловлено увеличением $f\text{O}_2$ в зонах повышенной проницаемости. Такие значения (сдвинутые относительно вмещающих отложений к мантийным меткам) свидетельствуют о том, что золоторудная ассоциация в пределах месторождения образована при участии флюидов, генерированных в глубинных очагах.

Приведенные значения $\delta^{34}\text{S}$ подтверждают предположение о связи формирования золотой минерализации с разгрузкой преимущественно глубинных флюидов на этапе заложения глубинного Сюльбанского разлома. Непосредственно заложение сюльбанской разломной тектоники рядом исследователей интерпретируется как аккреционные события силурийского времени (421 ± 15 млн лет) [4, 6], в результате чего островодужная Байкало-Муйская система аккрецировалась к платформе.

Повышенные значения $\delta^{34}\text{S}$ в образцах с рудными содержаниями торий-урановой составляющей могут являться свидетельством заимствования тяжелого изотопа серы из вмещающих осадочных пород кодарской серии при фильтрации сквозь них рудоносных растворов. Энергетическим фактором данного процесса могло послужить внедрение позднепалеозойского интрузивного ингамакитского комплекса с формированием оперяющих разломов более низкого ранга относительно Сюльбанского глубинного разлома [5]. Процесс уранового рудо-

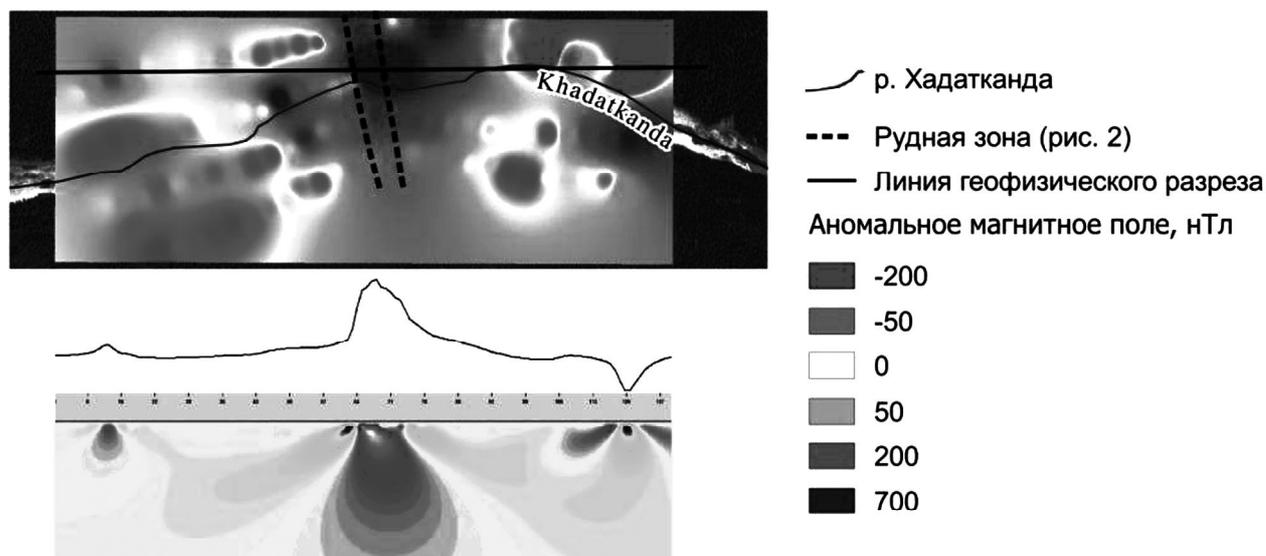


Рис. 11. Схема аномального магнитного поля месторождения Хадатканда и результаты его пересчета в нижнее подпространство.

образования, завершающего формирование рудной минерализации на рассматриваемой территории, аналогичен с детально изученными проявлениями на сопредельных территориях с образованием метасоматитов пропиловитового парагенезиса с характерными прожилками пирит-карбонат-коффинитового состава и датируется средней юрой [3]. Соответственно источником радиоактивных и сопутствующих урановому оруденению элементов вероятнее всего служили нижележащие отложения кодарской серии, которые, как было показано в ряде работ [10, 11 и др.], имеют литофильную, радиоактивную специализацию.

Отмечая широкое распространение пород данной серии на территории Забайкалья, можно предположить поисковую перспективность на обнаружение рудных месторождений аналогичного типа. Поскольку в современных геолого-экономических условиях их освоение становится рентабельным, опираясь на полученные данные, оценивались перспективы применимости геофизических методов для поиска новых рудных объектов в рассматриваемых природно-ландшафтных условиях.

В связи с тем, что в настоящий момент территория все еще является труднодоступной, наибольший интерес вызывают легкие пешеходные методы. Были выполнены рекогносцировочные геофизические исследования методами пешеходной магниторазведки и радиометрии по сети 30×80 м в районе месторождения Хадатканда и по сети 40×100 м далее на восток по Хадаткандскому разлому.

Проведенная пешеходная гамма-съемка не дала существенных результатов. Даже в пределах рудной зоны месторождения повышенная радиоактивность наблюдается исключительно в непосредственной близости от рудоразборок (достигая 2000 мкР/ч), шахт и штолен. Это связано со слепым характером оруденения, а также перекрытием истинного гамма-фона, обусловленным постоянным наличием подо мхом слоя льда, хорошо поглощающего гамма-излучение. Незначительное повышение радиоактивности может быть зафиксировано только в выходах коренных пород в прибрежной зоне реки Хадатканда.

Рудная зона месторождения характеризуется наличием положительных аномалий магнитного поля значительной амплитуды (рис. 11).

Пересчет поля в нижнее подпространство позволяет определить аномалеобразующий объект как практически вертикальный цилиндр (рудоподводящий канал), перекрытый моренными отложениями.

Таким образом, учитывая установленную генетическую связь золота с сульфидной минерализацией, предлагается считать магниторазведку в пешеходном варианте наиболее подходящим для поиска золоторудных объектов геофизическим методом. Поскольку в пределах изучаемой территории Au и радиоактивные (U, Th) элементы хотя и имеют различный источник, но локализованы в пределах единых структурных несогласий, магниторазведка представляется перспективным методом поисков также и радиоактивных объектов, значительно превосходя гамма-спектрометрию.

Зоны структурно-тектонических несогласий выявленного типа, вмещающие золото-уран-пирит-пирротиную минерализацию, в обычных условиях могли бы быть обнаружены методами электромагнитных профилирований, однако электро-разведка с гальваническим заземлением в рассматриваемом районе затруднена обилием грубообломочного материала, повсеместно распространенными зарослями кедрового стланника, отсутствием троп, а также постоянным наличием многолетнемерзлотных горных пород и льдов подо мхом на глубине свыше 10–15 см. Представляется, что эффективный комплекс методов поисков руд на территории Северного Забайкалья должен включать биогеохимические или гидрогеохимические опробования, которые в данных условиях могут быть более эффективными, чем традиционные литохимические методы поисков, и позволит выявить перспективные для постановки геофизических исследований участки территории.

В результате проведенной работы, можно сделать следующие выводы.

1) Установлена разная природа золотого и уранового оруденения в пределах рассматриваемой территории. Золото предположительно имеет ювенильный источник и связано с заложением глубинного Сюльбанского разлома. Радиоактивные элементы (U, Th) связаны с этапом внедрения позднепалеозойского ингамакитского интрузивного комплекса. Источником радиоактивных элементов, вероятнее всего, служили нижележащие отложения кодарской серии.

2) Учитывая первичную обогащенность черносланцевых отложений кодарской серии в пределах всей Кодаро-Удоканской СФЗ, кроме U и Th, еще и ЭПГ, можно предположить перспективы обнаружения в исследуемом регионе на месторождениях Au и U еще и повышенных содержаний Pt и Pd, что в настоящий момент представляет больше научный, нежели практический интерес.

3) Несмотря на разную природу благороднометалльного и уранового оруденения, наиболее перспективным из геофизических навигаторов поисков как на золото, так и на уран в данном районе представляется магниторазведка в пешеходном варианте, которая позволяет уверенно выявлять зоны структурно-тектонических несогласий и ассоциированное с пирротинном оруденение.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-05-00172-а и гранта президента РФ МК-3747.2015.5, с использованием научного оборудования Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН. Из-

мерения выполнялись на квадрупольном масс спектрометре Agilent 7700 x фирмы Agilent Technologies в Центре коллективного пользования «Байкальский Центр Нанотехнологий» в технопарке при Иркутском Государственном Техническом Университете (БЦНТ ФГБОУ ВО ИРНИТУ г. Иркутск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников Н.В., Шумилова Т.Г., Пячин С.А., Пугачевский М.А., Черепанов А.А., Исаенко С.И., Карпович Н.Ф., Комарова В.С. Фазовое состояние углеродистого вещества металлоносных сланцев Дальнего Востока России // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 4. С. 42–49.
2. Волкова М.Г., Будяк А.Е., Неволько П.А., Брюханова Н.Н., Спиридонов А.М. Связь черносланцевых толщ с процессами рудообразования в пределах Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоны // Изв. СО РАН. Геология, поиски и разведка руд. месторождений. 2012. № 2 (41). С. 54–68.
3. Гребенкин Н.А. Эволюция гидротермально-метасоматических ураноносных процессов в истории геологического развития Чарского района // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1.
4. Зорин Ю.А., Мазукабзов А.М., Гладкочуб Д.П. и др. Силурийский возраст главных складчатых деформаций рифейских отложений Байкало-Патомской зоны // Докл. РАН. 2008. Т. 423, № 2. С. 228–233.
5. Кучеренко И.В. Минералого-петрохимические и геохимические черты околорудного метасоматизма в кислых породах золотопродуцирующих флюидно-магматических комплексов // Изв. Томск. политех. ун-та. 2006. Т. 309, № 1. С. 24–32.
6. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю. Структурно-динамические режимы образования золото-сульфидно-кварцевой минерализации в Сюльбанской золоторудной зоне (бассейн среднего течения р. Витим). Ч. 1. Каралонское рудное поле // Изв. ТПУ. 2011. № 1. С. 29–35.
7. Макарьев Л.Б., Вояковский С.К., Илькевич И.В. Золотоносность урановых объектов в кодаро-удоканском прогибе // Руды и металлы. 2009. № 6. С. 56–64.
8. Макарьев Л.Б., Миронов Ю.Б., Вояковский С. К. О перспективах выявления новых типов промышленных комплексных урановых месторождений в Кодаро-Удоканской зоне (Забайкальский край, Россия) // Геология руд. месторождений. 2010. Т. 52, № 5. С. 428–438.
9. Невструев В.Г., Бердников Н.В., Нечаев В.П. Геохимическая характеристика углеродистых толщ восточной части Буреинского массива, несущих благороднометалльную минерализацию // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 1. С. 3–14.
10. Немеров В.К., Будяк А.Е., Развозжаева Э.А., Макрыгина В.А., Спиридонов А.М. Новый взгляд на происхождение медистых песчаников месторождения Удокан // Изв. СО РАН. Геология, поиски и разведка руд. месторождений. 2009. № 2 (35). С. 4–17.
11. Паршин А.В., Абрамова В.А., Мельников В.А., Развозжаева Э.А., Будяк А.Е. Перспективы благородно- и редкометалльного оруденения нижнепротерозойских отложений на территории Байкальской горной области // Вестн. ИРГТУ.

2013. № 3. С. 53–59.
12. Хомич В.Г., Фатьянов И.И., Борискина Н.Г. Металлогенический анализ типовых золотоносных районов южного и восточного обрамления Северо-Азиатского кратона (геотектоническая позиция, геологическое строение, особенности формирования) // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 6. С. 52–63.
13. Gromet L.P., Dymek R.F, Haskin L.A. et al. The «North American Shale Composite»: its compilation, major and trace element characteristics // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1984. V. 48. P. 2469–2482.
14. Wakita H., Rey P., Schmitt R. A. Abundances of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples: five igneous and one breccia rocks and four soils // *Pros. 2nd Lunar Sci Conf*. 1971. Pergamon Press, Oxford. P. 1319–1329.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

A.E. Budyak, B.B. Damdinov, V.N. Reutsky, A.V. Parshin, A.M. Spiridonov, M.G. Volkova, N.N. Bryukhanova, N.V. Bryansky

New results of geochemical and geophysical research of the Hadatkandsky fault zone (North Transbaikal region)

The study object is the Hadatkandsky fault zone with the Hadatkanda gold-uranium deposit localized within it and sediments of the Kodarsky (Ikabiyskaya, Ayan and Inyr formations) and Chineysky (Chitkandinsky, Aleksandrov and Butunsky formations) located at a significant distance from the above-mentioned area. Complex geophysical and geochemical studies of rocks and ores were performed. The obtained geochemical and mineralogical studies makes possible to consider the Hadatkanda gold-uranium deposit of infiltration-epigenetic origin.

The obtained data indicate that uranium and gold mineralization is associated with multi-temporal and different geodynamic regimes. Gold mineralization is associated with the formation of deep Syulbansky fault and has a juvenile source. A more recent thorium-uranium mineralization originated at the stage of tectonic rejuvenation of Syulbansky zone, where the underlying sediments of the Kodarsky group were probably a source of radioactive elements. This is confirmed by isotope data. For metasomatic altered rocks with increased Au contents $\delta^{34}\text{S}$ values were +2 ... +4 ‰ CDT, which is 4 ‰ lighter than the sulfur composition in the ore samples with U contents (+6 ... +8 ‰ CDT).

The possibilities of application of geophysical methods to study the Kodar-Udokan zone are analyzed, and the results of ground magnetometry and gamma-radiometry studies are presented. Cryogenetic conditions and the abundance of coarse stone material on the study territory hamper the implementation of common methods of geochemical and geophysical prospecting. The most promising method in prospecting for both gold and uranium mineralization in the territory of the mountainous Kodar-Udokan zone is ground magnetic survey. The obtained information allows for discovery of increased concentrations of platinum group elements within Au-U deposit in the study region.

Keywords: gold-uranium deposits, geodynamics, black shales, Verhnesyulbansky ore district, North Transbaikal region.