

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЦИИ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Фисенко В. Г.<sup>1</sup>, Макаров В. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВПО «Институт горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета», Красноярск, Россия (660025, Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95), e-mail: vitalya\_fisenko@mail.ru

Проведен сбор, анализ и обобщение материалов по геологии и золотоносности Северо-Восточного склона Енисейского кряжа. Построена схема металлогенического районирования исследуемой территории, выделены потенциальные золоторудные узлы и рудно-геохимические зоны. Дана характеристика геохимических полей, состава вмещающих пород и околорудных изменений в пределах золотоносных зон трех потенциальных рудных узлов (Нижне-Чиримбинский, Вангашский и Иочиминский). На основе изучения газово-жидких включений в кварце из рудноминерализованных зон изученных узлов установлен состав рудоносных флюидов и термодинамические условия протекания рудного процесса. Показано постепенное уменьшение температур и давлений рудоносных растворов по мере удаления изучаемых объектов к востоку ареала от гранитных интрузий и Ишимбинского глубинного разлома. Даны рекомендации на постановку поисковых работ на рудное золото.

Ключевые слова: Енисейский кряж, металлогеническое районирование, потенциальные рудные узлы, оруденение аномалии, температура, давление.

## GEOCHEMICAL PREREQUISITES AND THERMODYNAMIC CONDITIONS FOR GOLD MINERALIZATION LOCALIZATION OF THE NORTHEASTERN SLOPE OF THE YENISEI RIDGE

Fisenko V. G.<sup>1</sup>, Makarov V. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mining, Geology and Geotechnology of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, (660025, Krasnoyarsk, pr.Krasnoyarskiy rabochiy, 95), e-mail: vitalya\_fisenko@mail.ru

Gathering, analysis and generalization of geology and gold mineralization information of the northeastern slope of the Yenisei Ridge was carried out. Metallogenic scheme of the investigated area was built. Prospective gold mining areas and ore-geochemical zones were identified. The characteristics of geochemical fields of the host rocks and near-ore changes within the three zones of gold potential ore clusters (Nigne-Chirimbensky, Vangashsky, Iochiminsky) were described. The composition of ore-bearing fluids and thermodynamic conditions of the ore process are defined by the study of gas-liquid inclusions in quartz from the studied ore clusters. Temperature and pressure gradual decreasing in ore-bearing solutions at a distance increasing of objects to the east of the area from granitic intrusions and deep fault Ishimbinski is shown. Recommendations for gold ore prospecting are given.

Keywords: Yenisei Ridge, metallogenic zonation, potential ore clusters, ore anomalies, temperature, pressure

### Введение

Интенсивные поисковые работы на золото в пределах Енисейской золотоносной провинции в последние два десятилетия привели к выявлению ряда новых разномасштабных месторождений (Благодатное, Титимухта, Кварцевая гора Ведугинское, Панимбинское, Золотое и др.). Большая их часть, как и известные ранее объекты, локализуется в центральной, наиболее продуктивной металлогенической зоне, пространственно совпадающей с областью влияния крупных рудоконтролирующих разломов – Ишимбинского и Татарского. В этой же зоне максимально проявлены магматические процессы и локализованы наиболее богатые россыпи региона.

Промышленная золотоносность территории, расположенной восточнее Ишимбинского разлома, в настоящее время оценивается неоднозначно. Прежде всего, это связано с её амагматичностью и, соответственно, с относительной удаленностью от потенциальных источников тепла и флюидов.

Вместе с тем, анализ материалов предшествующих геолого-поисковых работ свидетельствует о наличии прямых признаков золота (коренные и россыпные золоторудные объекты, шлиховые, шлихогеохимические и литогеохимические аномалии во вторичных ореолах и потоках рассеяния) в пределах исследуемой территории. Плотность развития этих признаков показана на схеме металлогенического районирования Северо-Восточного склона Енисейского кряжа (Рис. 1). На схеме видно, что максимумы суммарной плотности поисковых признаков проявлены восточнее известных рудных узлов, хотя и с меньшей контрастностью. На основе данного анализа наибольшими поисковыми перспективами на обнаружение промышленно значимых золоторудных объектов обладают три потенциальных рудных узла: Нижне-Чиримбинский, Вангашийский и Иочиминский. К потенциальным рудно-геохимическим зонам следует отнести: Верхне-Немуньскую, Когнинскую, Большепитскую, Верхне-Качендскую, Горбилоскую, Качендско-Горбилоскую, и Кординскую площади.

*Целью* данной работы являлось сравнение критериев и признаков золотого оруденения вышеназванных потенциальных рудных узлов и выяснение термодинамических условий формирования рудно-минерализованных зон, выявленных в их пределах.

#### **Геолого-геохимическая характеристика Нижне-Чиримбинского потенциального рудного узла.**

Нижне-Чиримбинский потенциальный рудный узел расположен в бассейне р Чиримба, руч. Мароко, Яхота и Певун на стыке Енашиминского поднятия и Панимбинского мегаантиклинория. В пределах узла известно два рудопроявления золота (Яхотинское и Марокское) и 10 пунктов минерализации. В геохимическом поле узел выделяется аномалиями золота и мышьяка в потоках рассеяния масштабов 1:500 000 и 1: 200 000, а также аномалиями мышьяка и цинка во вторичных литогеохимических ореолах (масштаб 1:50 000).

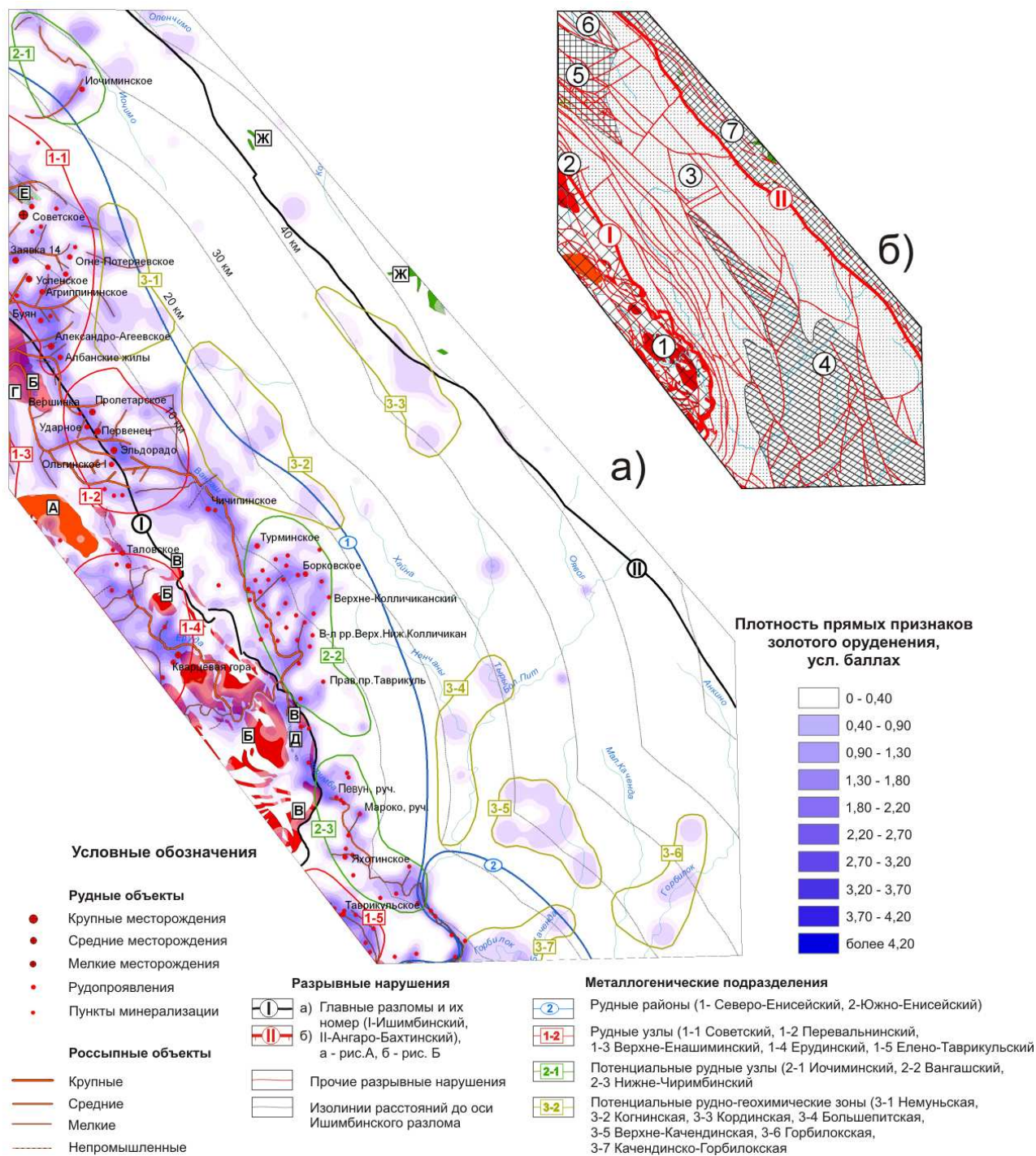


Рис. 1 Схемы металлогенического (а) и тектонического (б) районирования Северо-Восточного склона Енисейского кряжа. А – Е магматические комплексы: А – гурахтинский комплекс (умеренно-щелочные граниты), Б – татарско-аяхтинский комплекс (граниты), В – ерудинский комплекс (плагиогранитогнейсы), Г – гаревский комплекс (граниты, гранитогнейсы), Д – шумихинский комплекс (метапикриты, метабазальты), Е – ковригинский субвулканический комплекс (риолиты, дациты, базальты); Ж – кузьмовский комплекс (габбро-долериты). Цифрами в кружках на схеме тектонического районирования показаны: 1 – Панимбинский мегаантиклинорий, 2 – Тейский прогиб, 3 – Енашиминское поднятие, 4 – Ангаро-Питский мегасинклинорий, 5 – Кордо-Лебяженский синклинорий, 6 – Олончиминская синклиналь, 7 – Вельминский свод.

Марокское рудопроявление расположено в бассейне руч. Мароко и приурочено к системе сближенных литогеохимических аномалий золота общим размером 1,5 x 3,0 км. Содержание золота в контуре вторичных геохимических аномалий варьируется от 40 до 100 мг/т, достигая в единичных пробах 1000 мг/т. Распределение элементов спутников во вторичном геохимическом поле рудопроявления зонально. В западной его части наблюдаются повышенные концентрации золота, натрия, калия, кобальта, марганца, серебра и вольфрама, в центральной – золота, мышьяка, свинца, алюминия, фосфора, бериллия, стронция, циркония, ниобия, серебра, меди и цинка. В геофизических полях зоны сульфидной минерализации выражены аномалиями вызванной поляризации (до 3-4%), а зоны прожилково-жильного окварцевания – аномалиями кажущегося сопротивления (от 2000 до 5000 Ом·м).

Золотоносные зоны представляют собой окварцованные сульфидизированные, метасоматически измененные сланцы с прослоями метапесчаников, насыщенные маломощными (0,1-0,5 см) прожилками и единичными линзами кварца мощностью до 0,1 м. В этих зонах выделяются отдельные интервалы мощностью от 1-3 до 15-25 м с промышленными содержаниями золота от 0,5 до 23,89 г/т, а в отдельных случаях до 240 г/т. Основными рудными минералами являются: арсенопирит, пирротин, пирит, марказит, пирит-мельниковит, халькопирит. В единичных случаях отмечаются сфалерит, ильменит и магнетит.

Рудные зоны Яхотинского рудопроявления прогнозируются по геохимическим аномалиям золота во вторичных ореолах рассеяния, прослеживающимся в восточной и западной части Нижне-Чиримбинского потенциального рудного узла. В западной части рудная минерализация приурочена к метасоматически измененным, сульфидизированным биотит-серицит-кварцевым сланцам кординской свиты, с мелкими кварцевыми и кварц-лимонитовыми прожилками. Содержания золота в пределах рудных зон достигают 300 мг/т, а в одной пробе более 1 г/т. В восточной части рудопроявления оруденение приурочено к трещиноватым и метасоматически измененным кварц-хлорит-серицитовым сланцам горбилонской и удерейской свит. Золотоносная зона имеет мощность более 200 м при содержании золота до 0,4 и более 1,0 г/т.

#### **Геолого-геохимическая характеристика Вангашского потенциального рудного узла.**

Вангашский потенциальный рудный узел расположен вдоль левого берега р. Вангаш от впадения р. Автолик до верховьев р. Немчаны. В пределах узла известны россыпи золота в долине р. Вангаш и ее притоков (руч. Хококо, Шевандак, Когня, Мекся, Верхний и Нижний

Колличикан), два рудопроявления (Борковское, Турминское) и около 30 пунктов минерализации. Большинство из них представлено небольшими кварцево-жильными телами и жильно-штокверковыми зонами с содержанием золота от 0,4 до 2,7 г/т. Кроме того, отмечаются зоны интенсивного смятия и гидротермальной проработки пород, в которых, по результатам штуфного опробования, содержание золота составляет 3; 4,2; 10 г/т. В западной его части в долине р. Вангаш отмечается аномалия золота и мышьяка в потоках рассеяния масштаба 1:500 000. В пределах всего узла наблюдаются повышенные концентрации золота, мышьяка, свинца, цинка и редкоземельных элементов в потоках рассеяния, выявленные геохимической съемкой масштаба 1:200 000. В бассейнах ручьев Борковский и Верхний Колличикан выявлены аномалии золота и мышьяка в литогеохимическом поле при съемке масштаба 1: 50 000. В пределах этой аномалии также установлены повышенные концентрации бора, висмута, серебра и вольфрама.

В геофизических полях рудный узел фиксируется слабовыраженными положительными аномалиями магнитного поля (до 100 нТл), вызванной поляризации (до 5%), электрического сопротивления (до 3000 Ом·м), небольшими максимумами гравитационного поля (до 0,1 мГал) и радиоактивными аномалиями. Наибольшими поисковыми перспективами, исходя из анализа геохимического поля и материалов предшественников, обладает рудопоявление Борковское, расположенное в верховьях ручьев Борковский, Индеки и Верхний Количикан.

Геохимическое поле рудопоявления Борковское локализовано в серицит-хлорит-кварцевых сланцах горбилкокской свиты. Аномалия золота изометрична в плане (1,3x1,0 км) и характеризуется вариациями металла от 15 до 515 г/т. Пространственно ореол золота коррелирует с аномалиями мышьяка, меди, свинца, цинка, калия, железа и марганца.

Вмещающие оруденение породы смяты в напряженные микроскладки и интенсивно трещиноваты. Золоторудные зоны с мелкими прожилками кварца, гидроокислами железа и тонкой рассеянной вкрапленностью арсенопирита имеют СЗ простирание и приурочены к участкам интенсивного рассланцевания. Мощность прожилков варьирует в пределах 0,1 мм – 1-5 см, иногда достигая 0,1-0,5 м. В кварце и вмещающих породах присутствует вкрапленность (1-3%) рудных минералов – пирротина, пирита, арсенопирита, висмутина. Содержание золота в зоне по данным бороздowego опробования колеблется от 0,1 до 1,7 г/т, достигая в одной пробе 10 г/т. В окварцованных сланцах золотоносной зоны обнаружены повышенные концентрации мышьяка, бора, висмута, свинца, серебра, меди, вольфрама и сурьмы.

#### **Геолого-геохимическая характеристика Иочиминского потенциального узла.**

Иочиминский потенциальный рудный узел является наименее изученным среди рудных узлов Северо-Восточного склона Енисейского кряжа и был выделен относительно недавно в результате геохимических поисков в бассейне р. Иочимо в 2004-2006 гг. [2].

В структурно-тектоническом отношении он расположен на стыке Енашиминского поднятия, Кордо-Лебяжинского мегасинклинория и Олончиминской синклинали.

В пределах узла известны мелкие, в настоящее время не отрабатываемые, россыпи в долинах рек Иочимо и Като, а также Иочиминское рудопроявление коренного золота. В геохимическом поле узел выделяется повышенными концентрациями золота и мышьяка в донных осадках и аномалий мышьяка, цинка, свинца, меди, золота и марганца во вторичных ореолах рассеяния.

Иочиминское рудопроявление расположено в междуречье рек Кото и Иочимо. Пространственно оно совпадает с аномалией золота во вторичных ореолах рассеяния интенсивностью до 1,5 г/т и размером 6 x 3 км, выявленной при геохимической съемке масштаба 1:50 000. В геохимическом поле в районе рудопроявления наиболее выраженные аномалии образуют золото и мышьяк. Концентрация золота в рыхлых отложениях в 11 пробах достигала 1 г/т и выше. Мышьяк проявлен слабоконтрастными геохимическими аномалиями интенсивностью до 40-60 г/т.

Аномалия с поверхности заверена лишь единичными линиями шурфов и не прослежена на глубину. Суммарная мощность вскрытых зон золотоносных метасоматитов около 30 м. Содержания золота изменяются от 0,2 до 1,1 г/т. На отдельных маломощных интервалах (0,2-0,4 м) тонкого кварцевого прожилкования содержание золота достигает 4,8 и 5,6 г/т. В единичной пробе кварца из делювия содержание золота составило 36,1 г/т.

Вмещающие оруденение породы представляют собой в разной мере хлоритизированные и филлитизированные глинистые сланцы, реже, песчаники среднеудерейской подсвиты. Основными рудными минералами являются гетит, гематит, пирит, халькопирит, галенит, золото, марказит, малахит.

В геофизических полях рудная зона сопровождается аномалией вызванной поляризации интенсивностью до 3% и слабой намагниченностью вмещающих пород (-50 – +22 нТл).

### **Сопоставление условий формирования и вещественного состава рудоносных зон потенциальных рудных узлов.**

Сравнительный анализ условий локализации и вещественного состава рудоносных зон Иочиминского, Нижне-Чиримбинского и Вангашского потенциальных рудных узлов показывает их существенные отличия.

Рудные объекты Нижне-Чиримбинского и Вангашского узлов тяготеют к тектонически ослабленным зонам с интенсивно проявленными складчатыми деформациями, в то время как вмещающие породы Иочиминского потенциального рудного претерпели гораздо менее значительные пликативные дислокации, а, следовательно, и сопутствующие им дизъюнктивные деформации.

Вмещающие породы Иочиминского рудопроявления, в отличие от локализирующих оруденение Нижне-Чиримбинского и Вангашского узлов, подверглись более низкотемпературным преобразованиям в процессе регионального метаморфизма. Для последних характерна биотитовая ступень зеленосланцевой фации, в то время как уровень метаморфизма вмещающих пород Иочиминского рудопроявления едва достиг зеленосланцевой. Интенсивность метасоматических преобразований околорудного пространства (березитизация, хлоритизация, турмалинизация, серицитизация, окварцевание) также заметно выше у относительно близких к зоне Ишимбинского разлома объектов Нижне-Чиримбинского и Вангашского рудных узлов. Вместе с тем, в пределах Иочиминского потенциального рудного узла, помимо указанных выше метасоматических процессов, породы околорудного пространства подверглись интенсивной бурошпатизации, что больше характерно для большеобъемных месторождений Байкало-Патомской складчатой зоны [1] и является специфичным видом изменений для золоторудных объектов Енисейского кряжа.

Минерализованные зоны Иочиминского рудопроявления по отношению к рудным объектам Нижне-Чиримбинского и Вангашского рудных узлов характеризуются меньшим разнообразием сульфидных минералов. В частности, арсенопирит-пирротиновая ассоциация, встречающаяся на большинстве золоторудных объектов Енисейского кряжа [3], отсутствует, а галенит-сфалеритовая наблюдается в единичных случаях.

Различия в вещественном составе рудных зон сравниваемых объектов, очевидно, связаны с эволюцией рудогенерирующих растворов по мере удаления рудных объектов на восток от Ишимбинского разлома. Термодинамические исследования кварцево-жильных образований Нижне-Чиримбинского, Вангашского и Иочиминского потенциальных рудных узлов показали, что в формировании золотого оруденения на всех объектах принимали участия существенно водно-солевые, водно-углекислотные флюиды [5]. Показатель солености этих флюидов колеблется на уровне 0,2-26,5 мас.%, NaCl-экв. В составе раствора ведущими компонентами являются вода и углекислота. Повышенных концентраций других газов (азот, метан и его гомологи), часто отмечающихся в составе флюидных включений, в

кварце ряда месторождений Енисейского края [4] в результате криометрических исследований обнаружено не было.

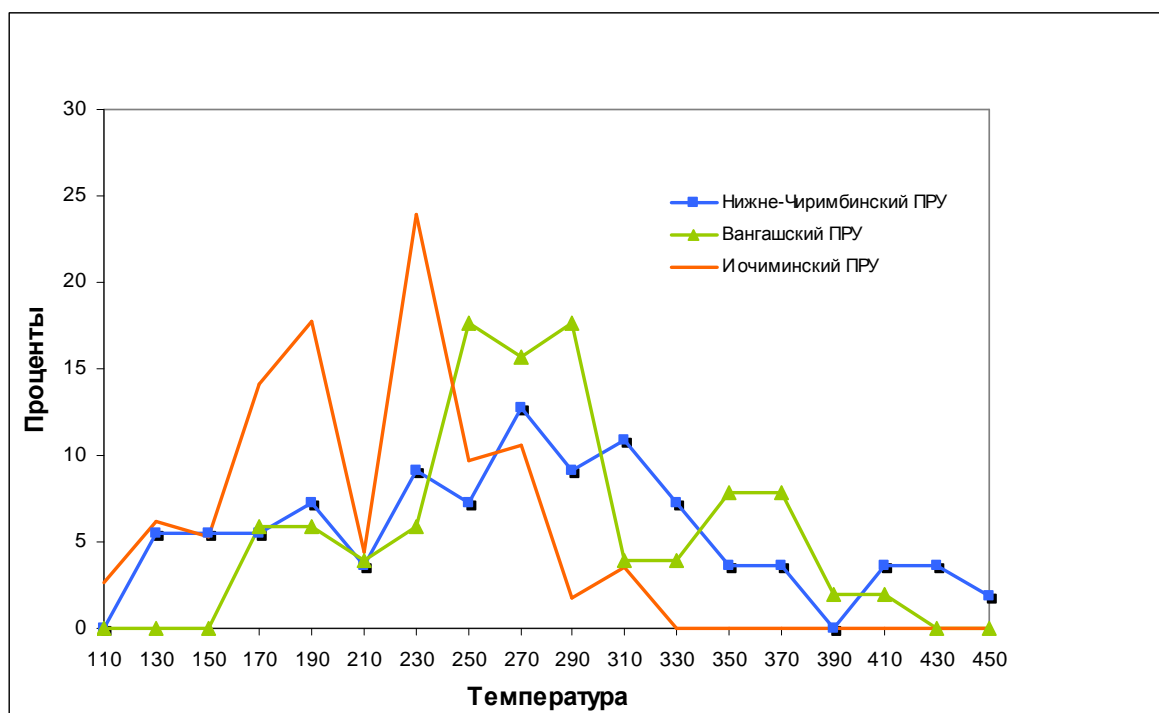


Рис.2. Сопоставление температур гомогенизации водно-солевых флюидных включений в кварце Иочиминского, Вангашского и Нижне-Чиримбинского потенциальных рудных узлов.

Несмотря на сходство компонентов рудоносных растворов сравниваемых потенциальных рудных узлов, наблюдается снижение плотности углекислоты в его составе по мере удаления от зоны Ишимбинского разлома. Это является индикатором постепенного уменьшения давления флюида от относительно близких к Ишимбинскому разлому и гранитным интрузиям Нижне-Чиримбинского и Вангашского потенциальных узлов (0,6-3,8 и 1,5-3,4 кБар) к более удаленному Иочиминскому (0,2-2,2 кБар). В исследуемых образцах Иочиминского рудного узла отмечается рост флюидонасыщенности кварца по отношению к кварцу Нижне-Чиримбинского и Вангашского рудного узлов, при этом доля углекислоты заметно снижается и уменьшается коэффициент восстановленности рудоносных растворов от 0,004-0,19 и 0,02-0,03 до 0,001-0,01.

Помимо давления для минерализованных рудных зон наблюдаются различия в температурном режиме минералообразования из рудоносных гидротерм. Согласно данным термометрии (Рис. 2), для Нижне-Чиримбинского и Вангашского рудных узлов характерны температуры 150-430 и 150-405°C соответственно, в то время как в пределах Иочиминского рудного узла температурный интервал существенно ниже и варьирует в диапазоне 100-320°C. Установленные интервалы температур и давлений находятся в пределах максимально



продуктивного температурного интервала, при котором формировались рудные зоны Советского месторождения [1], что может расцениваться как благоприятная предпосылка для обнаружения в пределах сравниваемых узлов промышленно значимых рудных объектов.

### **Выводы**

Проведенные сопоставления потенциальных рудных узлов указывают, на постепенное снижение интенсивности рудного процесса и сопровождающих его метасоматических преобразований околорудного пространства по мере удаления на восток от зоны Ишимбинского разлома и гранитных интрузий. Вместе с тем, определенные термодинамические условия протекания рудного процесса близки по ряду параметров к золото-кварцевым объектам Советского рудного узла, а наличие установленных золоторудных зон, свидетельствует о целесообразности дальнейших поисков золота в пределах Нижне-Чиримбинского, Вангашского и Иочиминского потенциальных рудных узлов. Успешный результат этих работ также может явиться толчком для последующих поисков рудного золота на Северо-Восточном склоне Енисейского кряжа, в том числе в пределах выделенных потенциальных рудно-геохимических зонах.

### **Список литературы**

1. Иванов А.И. Закономерности формирования золоторудных месторождений Бодайбинского рудного района // Известия Сибирского отделения секции Наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: ИрГТУ, 2005. — Выпуск 2. – С. 37-49.
2. Макаров В.А. Маслов Г.Б. Новые данные о золотоносности Иочиминской рудной зоны (Восточный склон Енисейского кряжа). / Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. тр. / под общ. ред. В.Е. Кислякова; ГОУ ВПО «Гос. ун-т цвет. металлов и золота». – Красноярск, 2006. — С. 83-88.
3. Сердюк С.С., Коморовский Ю.Е., Зверев А.И., Ояберь В.К., Власов В.С., Бабушкин В.Е., Кириленко В.А., Землянский С.А. Модели месторождений золота Енисейской Сибири / Под редакцией С.С. Сердюка. – Красноярск, 2010. — 584 с.
4. Томиленко А.А., Гибшер Н.А. Особенности состава флюида в рудных и безрудных зонах Советского кварц-золоторудного месторождения, Енисейский кряж (по данным изучения флюидных включений) // Геохимия. — 2001. - №2. — С. 167-177.
5. Фисенко В. Г. Состав и термобарогеохимические особенности газовой-жидких включений в кварце Восточного склона Енисейского кряжа // Современные технологии освоения

минеральных ресурсов: сб. науч. трудов / под общ. ред. В.Е. Кислякова. — Красноярск: Сиб. федер. у-нт, 2012. — С. 432-437.

**Рецензенты:**

Сердюк С.С., д.г.-м.н., зам. директора по геологии ООО « Прикладная геология», г. Красноярск.

Корнев Т.Я., д.г.-м.н., заведующий лабораторией петрологии и минералогии КНИИГИМС, г. Красноярск