

На правах рукописи



**ФИСЕНКО ВИТАЛИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ**

**ПРЕДПОСЫЛКИ И ПРИЗНАКИ ЗОЛОТОРУДНОЙ  
МИНЕРАЛИЗАЦИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СКЛОНА  
ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА И ПЕРСПЕКТИВЫ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ**

**Специальность**

**25.00.11 – геология, поиски и разведка  
твердых полезных ископаемых, минерагения  
(геолого-минералогические науки)**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Красноярск – 2016

Работа выполнена на кафедре геологии месторождений и методики разведки  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Научный доктор геолого-минералогических наук, профессор  
руководитель: **Макаров Владимир Александрович**

Официальные **Ворошилов Валерий Гаврилович**  
оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет», кафедра геологии и разведки  
полезных ископаемых, профессор

**Душин Владимир Александрович**  
доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБОУ ВО  
«Уральский государственный горный университет», кафедра  
геологии, поисков и разведки месторождений полезных  
ископаемых, заведующий кафедрой

Ведущая ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский  
организация: технический университет», г. Иркутск

Защита состоится «3» июня 2016 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного  
совета Д 212.099.23 при ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
по адресу: 660025, г. Красноярск, проспект им. газ. Красноярский рабочий, 95,  
ауд. 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский  
федеральный университет» и на сайте <http://www.sfu-kras.ru>

Автореферат разослан «    » апреля 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Демченко Игорь Иванович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Интенсивные поисковые работы на золото в пределах Енисейской золотоносной провинции в последние годы привели к выявлению ряда разноранговых 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 продуктивные россыпи региона.

Смещение в последние годы золото-поисковых работ к востоку от Ишимбинского разлома позволило выявить здесь ряд золоторудных проявлений и других признаков золоторудной минерализации, а также обосновать выделение новых потенциальных золоторудных узлов (Иочиминский, Вангашский, Нижне-Чиримбинский). Геологическая изученность данных узлов остается низкой, а промышленный потенциал выявленных золоторудных объектов пока не оценен, как и не выяснены, в полной мере, условия образования локализованных здесь рудных зон, а также их геохимические, структурные и минералогические особенности. Решение данных вопросов, для территории выделенной нами как Северо-Восточный склон Енисейского кряжа, актуально в силу необходимости определения восточных границ распространения промышленного золотого оруденения и выработки рекомендаций по направлению поисковых работ, а также выбору новых площадей для лицензирования.

**Цели и задачи работы.** На основе обобщения материалов по золотоносности Северо-Восточного склона Енисейского кряжа провести анализ предпосылок и признаков золотого оруденения, выяснить условия образования обнаруженных здесь золотопроявлений и оценить их промышленные перспективы.

В работе решались следующие задачи:

- анализ геологических предпосылок и признаков золоторудной минерализации в пределах изучаемой площади и её металлогеническое районирование;

- изучение особенностей геохимических полей и вещественного состава вмещающих пород и руд золоторудных проявлений Северо-Восточного склона Енисейского кряжа (Иочиминский, Вангашский, Нижне-Чиримбинский потенциальные рудные узлы), а также определение термодинамических параметров формирования рудоносных растворов;

- выявление условий образования, геолого-структурной позиции и минералого-геохимических особенностей золотого оруденения Иочиминского рудопроявления – наиболее удаленного к востоку от Ишимбинского разлома золоторудного объекта;

- выяснение особенностей проявления золотоносных зон Иочиминского рудного поля во вторичных литогеохимических ореолах и геофизических полях на основе опытно-методических работ и разработка рекомендаций для выбора рационального комплекса поисковых методов.

**Фактический материал и методы исследования.** Основу работы составляют материалы, собранные автором в составе группы компаний «Прогноз» в 2004-2012 гг. в процессе поисковых и опытно-методических работ в пределах Иочиминской площади, а также при выполнении работы «Составление прогнозно-металлогенической карты на золото Енисейского кряжа масштаба 1:500 000 и разработка программы лицензирования площадей для ЗАО «Полюс». Кроме того, использован фактический и каменный материал, предоставленный геологическими службами АО «Полюс», работающей по проекту «Поиски и оценка рудного золота на Вангапшкской площади» и АО «Красноярскгеолсъемка», выполняющей поисковые работы на рудное золото в пределах Нижне-Чиримбинского золоторудно-россыпного узла.

В работе дан анализ предпосылок и признаков золотоносности Северо-Восточного склона Енисейского кряжа. Для изучения особенностей вторичных геохимических полей потенциальных золоторудных узлов проанализированы и обработаны результаты спектрозолотометрического (10200 проб), атомно-эмиссионного спектрального (34400 проб), рентгенофлуоресцентного (16928 проб), и ICP-MS (3770 проб) анализов. Для выявления петрографо-минералогических особенностей рудных объектов изучены 65 прозрачных шлифов и 45 аншлифов. Исследование термодинамических условий формирования рудных зон и состава рудоносных растворов выполнялось на 30 образцах кварца в лаборатории Института геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск). Для определения форм нахождения золота во вторичных ореолах проведен комплекс исследований большеобъемной пробы из элювиально-делювиальных отложений зоны гипергенеза включающий: ситовой анализ, гравитационное обогащение на концентрате Falcon L40 и далее последовательное разложение фракций в кислотах по методике последовательного растворения. Аналитическое сопровождение данных работ осуществлялось в лабораториях ИХХТ СО РАН и ОАО «Красцветмет».

**Научная новизна** исследований заключается в том, что впервые для Северо-Восточного склона Енисейского кряжа:

- проведено обобщение предпосылок и признаков золоторудной минерализации и осуществлено металлогеническое районирование территории;
- дана минералого-геохимическая характеристика золотоносных зон Иочиминского рудного поля и определены источники промышленных россыпей в долинах рр. Иочимо и Като;
- определены термодинамические параметры формирования кварца золотоносных ассоциаций и дана сравнительная характеристика рудопроявлений Северо-Восточного склона Енисейского кряжа по условиям формирования;
- выявлены формы нахождения золота во вторичных ореолах минерализованных зон Иочиминского проявления.

**Практическая значимость** исследования заключается в том, что определено направление поисковых работ в пределах Северо-Восточного склона Енисейского кряжа в целом и Иочиминского потенциального рудного узла в частности. Дана оценка ресурсного потенциала исследуемой площади. На основе опытно-методических исследований предложен рациональный комплекс поисковых

методов для локализации золотого оруденения в пределах Иочиминского рудного поля.

### **Защищаемые положения.**

1. Золотое оруденение в северо-восточной амагматичной части Енисейского кряжа проявлено в поле развития пород сухопитской серии комплексом прямых и косвенных поисковых признаков. Плотность проявления этих признаков постепенно снижается в восточном направлении по мере удаленности от Ишимбинского глубинного разлома и гранитоидных магматических комплексов. По совокупности предпосылок золотоносности на северо-востоке Енисейского кряжа с севера на юг выделяются Иочиминский, Вангашский и Нижне-Чирибинский потенциальные рудные узлы.

2. Наиболее удаленные к востоку от Ишимбинского разлома и гранитоидных интрузий золотоносные зоны Иочиминского потенциального рудного узла локализируются в филлитизированных сланцах среднеудерейской подсветы и представлены низкотемпературными метасоматитами кварц-серицит-хлоритового состава. Локализованные в них золотоносные кварцевые прожилки сформировались при температурах 100-320 °С из флюидов водно-хлорид-натриевого и водно-углекислотного состава и содержат убогую галенит-пирит-халькопиритовую минерализацию.

3. Формирование золоторудных объектов Нижне-Чирибинского, Вангашского и Иочиминского потенциальных рудных узлов происходило на фоне постепенного уменьшения температур и давлений рудоносных растворов, а также снижения интенсивности складчатых деформаций по мере их удаления от интрузий гранитоидов и Ишимбинского глубинного разлома. На вещественно-минеральном уровне это выразилось в снижении масштабов метасоматических преобразований и уменьшении разнообразия рудных минералов в рудных зонах и породах околорудного пространства.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Работа изложена на 136 страницах текста и сопровождается 52 иллюстрациями и 17 таблицами. Список литературы включает 137 наименований.

В **первой главе** отражены геологическое строение и состояние изученности исследуемой территории, а также методика проводившихся исследований.

Во **второй главе** проанализированы предпосылки и признаки золоторудной минерализации, выполнено металлогеническое районирование.

В **третьей главе** дана сравнительная характеристика минерализованных золотоносных зон Северо-Восточного склона Енисейского кряжа и определены термодинамические условия их формирования.

В **четвертой главе** приведены результаты опытно-методических работ и исследования по определению форм нахождения золота во вторичных ореолах, предложен комплекс эффективных поисковых методов и выполнена оценка ресурсного потенциала перспективных площадей.

**Личный вклад соискателя** заключается в постановке задач, определении объемов, планировании и организации полевых и лабораторных исследований, составлении карты металлогенического районирования исследуемой территории, оценке прогнозных ресурсов потенциальных рудных узлов и рудно-

геохимических зон. Автор принимал непосредственное участие в полевых поисковых работах, отборе и обработке литогеохимических проб, макро- и микроскопическом изучении образцов, а также в компьютерной обработке и интерпретации полученных в ходе исследования результатов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации представлялись на сибирском горно-геологическом деловом форуме «МИНГЕО СИБИРЬ» (Красноярск, 2010), всероссийской научно-технической конференции «Молодежь и наука» (Красноярск, 2010, 2012), XIV-ом международном совещании «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения» (Новосибирск, 2010), XV-ом международном симпозиуме им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2011), всероссийской конференции «Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования» (Новочеркасск, 2011), международной технической конференции «Современные технологии освоения минеральных ресурсов» (Красноярск, 2012), международном конгрессе «Цветные металлы Сибири» (Красноярск, 2013). По теме диссертации опубликовано 11 работ, из которых две в журналах, аннотированных ВАК.

**Благодарности.** Работа выполнена на кафедре «Геологии месторождений и методики разведки» Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета под руководством доктора геол.-минерал. наук В.А. Макарова, которому автор выражает особую признательность. Автор благодарит канд. геол.-минерал. наук С.М. Макеева, канд. геол.-минерал. наук В.Г. Михеева, канд. геол.-минерал. наук П.Н. Самородского, д-ра геол.-минерал. наук А.М. Сазонова (СФУ), канд. геол.-минерал. наук Н.А. Гибшер и канд. геол.-минерал. наук А.А. Томиленко (ИГМ СО РАН) за ценные советы при обсуждении результатов исследований. Автор выражает благодарность сотрудникам ЦГИ «Прогноз» – А.Д. Шрайнеру, В.В. Межубовскому и М.А. Самородской за помощь на всех стадиях подготовки диссертации, а также руководству АО «Полюс» и АО «Красноярскгеолсъемка» и их сотрудникам В.В. Журавлеву, Р.Г. Шарипову и В.А. Москалеву за предоставленный для исследований фактический и каменный материал.

## **ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ**

**1. Золотое оруденение в северо-восточной амагматичной части Енисейского кряжа проявлено в поле развития пород сухопитской серии комплексом прямых и косвенных поисковых признаков. Плотность проявления этих признаков постепенно снижается в восточном направлении по мере удаленности от Ишимбинского глубинного разлома и гранитоидных магматических комплексов. По совокупности предпосылок золотоносности на северо-востоке Енисейского кряжа с севера на юг выделяются Иочиминский, Вангашский и Нижне-Чиримбинский потенциальные рудные узлы.**

Площадь исследования расположена в пределах Северо-Восточного склона Енисейского кряжа. Согласно тектонической схеме Л.В. Качевского она практически полностью охватывает Енашиминское поднятие, а также

примыкающие к нему Ангаро-Питский и Кордо-Лебяжинский синклинории, и Олончиминскую синклираль. С запада исследуемая территория ограничивается зоной Ишимбинского глубинного разлома, на востоке Ангаро-Бахтинским разломом, по которому она граничит с Сибирской платформой (рисунок 1б).

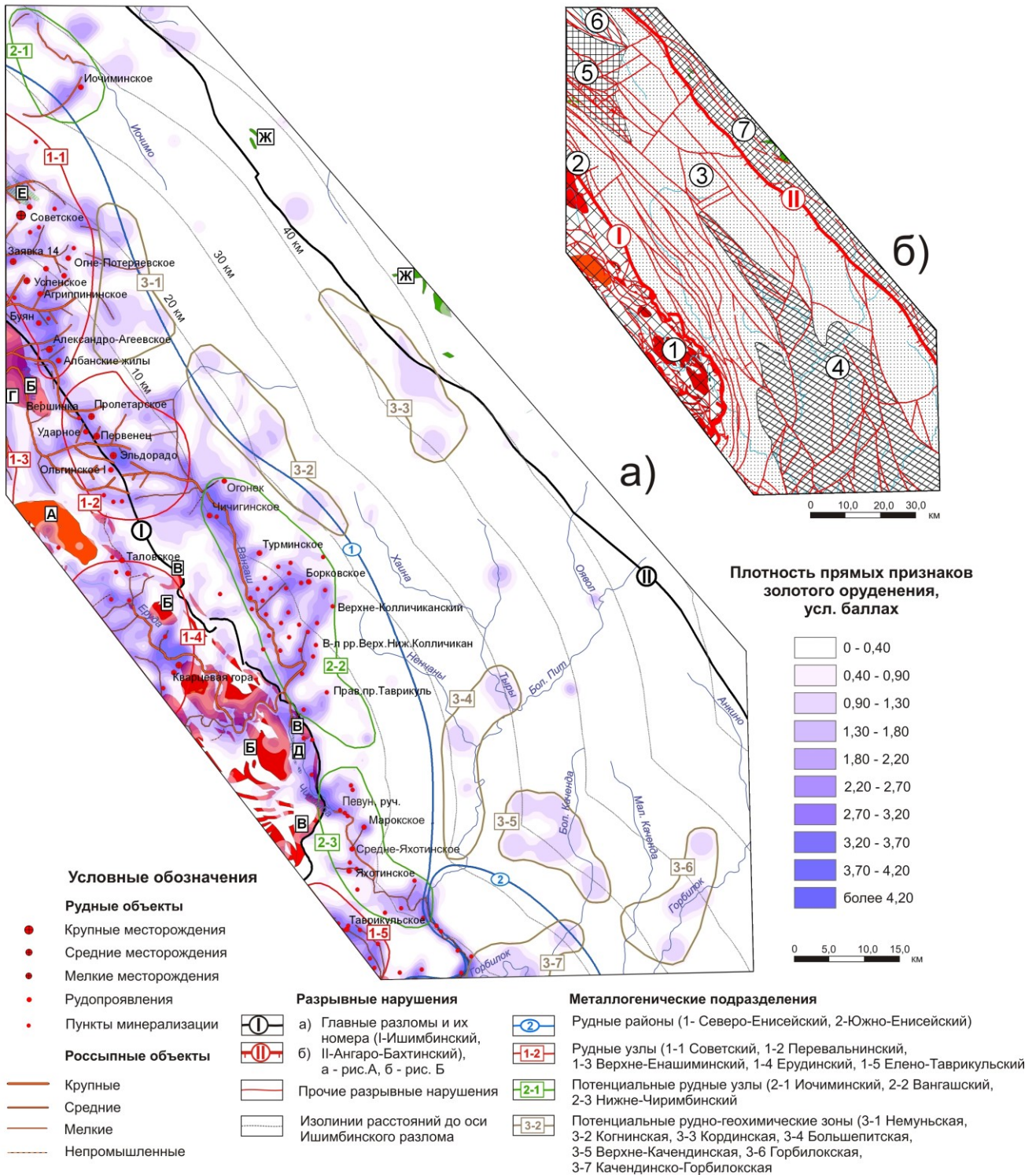


Рисунок 1 – Схемы металлогенического (а) и тектонического (б) районирования Северо-Восточного склона Енисейского кряжа. Буквы А – Е в квадратах – магматические комплексы: А – гурахтинский комплекс (умеренно-щелочные граниты), Б – татарско-аяхтинский комплекс (граниты), В – ерудинский комплекс (плагитогнейсы), 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 – Паним-

бинский мегаантиклинорий, 2 – Тейский прогиб, 3 – Енашиминское поднятие, 4 – Ангаро-Питский мегасинклинорий, 5 – Кордо-Лебяжинский синклинорий, 6 – Олончиминская синклинали, 7-Вельминский свод

Анализ пространственной приуроченности золоторудных объектов Енисейского кряжа (месторождения, рудопроявления, пункты минерализации) к различным стратиграфическим уровням показывает, что большая часть их (58,73%) локализуется в породах сухопитской серии (кординская свита – 24,49%; горбиллокская свита – 9,75%; удерейская свита – 24,49%). Эти благоприятные для формирования оруденения отложения широко развиты в пределах исследуемой территории и занимают соответственно 19,64; 4,5 и 3,45% площади. С ними устанавливается устойчивая пространственная связь коренных и россыпных рудных объектов как хорошо изученных (Советский, Перевальнинский), так и потенциальных (Нижне-Чиримбинский, Вангашский, Иочиминский) рудных узлов (ПРУ).

Ведущая рудоконтролирующая роль в регионе отводится зоне Ишимбинского разлома, имеющего форму надвига. Рудолокализирующие разрывные нарушения, как правило, сонаправлены Ишимбинскому разлому, имеют сбросо-взбросовый характер и осложнены более мелкими сбросо-сдвигами северо-восточной ориентировки.

Значительную роль в формировании оруденения играет гранитоидный магматизм. Согласно нашему анализу, в пределах 10 километровой области влияния гранитоидов татарско-аяхтинского, гаревского, ерудинского и гурахтинского комплексов сосредоточено 76% всех золоторудных объектов региона. В отличие от центральной части Енисейского кряжа исследуемая территория характеризуется практически полным отсутствием гранитных интрузий, что заметно ослабляет влияние магматического критерия в пределах Северо-Восточного склона и определяет особенности проявленных здесь золотоносных зон.

Устойчивыми признаками золотого оруденения в пределах Енисейского кряжа, как и для других золотоносных провинций, является наличие россыпей и шлиховых ореолов золота. Согласно анализу имеющихся материалов практически все они локализовались в западной части исследуемой территории (рисунок 1а). На востоке Северо-Восточного склона Енисейского кряжа известны лишь россыпи в бассейнах рр. Иочимо и Като, а также отмечаются эпизодические находки золота в шлихах.

Нижне-Чиримбинский и Вангашский ПРУ расположены в пределах двадцатикилометровой полосы к востоку от Ишимбинского разлома и значительно удалены от гранитных интрузий Енисейского золото-кварцевого пояса. В пределах данных узлов известны многочисленные проявления и пункты минерализации рудного золота (Нижне-Чиримбинский ПРУ – 3 рудопроявления, 10 пунктов минерализации, Вангашский ПРУ – 4 рудопроявления, 30 пунктов минерализации).

Большинство водотоков в их пределах вмещают аллювиальные россыпи, которые в настоящий момент практически полностью отработаны. В геохимических полях Нижне-Чиримбинского потенциального рудного узла



(донные отложения) отмечены повышенные концентрации золота, мышьяка. Золото, мышьяк, свинец и молибден образуют контрастные аномалии во вторичных ореолах рассеяния над минерализованными зонами. В пределах Вангашского ПРУ из геохимических признаков проявлены аномалии золота, мышьяка, свинца, цинка и редкоземельных элементов в потоках и повышенные концентрации золота, мышьяка, бора, висмута, серебра и вольфрама, свинца и меди во вторичных ореолах рассеяния.

Иочиминский ПРУ является наиболее удаленным на восток от Ишимбинского разлома среди выделенных потенциальных рудных узлов (35 км). В его пределах известны россыпи золота в долинах рек Иочимо и Като, а также выявленное работами ЦГИ «Прогноз» Иочиминское рудопроявление. Из геохимических признаков рудного золота в пределах узла проявляются повышенные концентрации золота и мышьяка в донных осадках, а также аномалии золота, мышьяка, меди, свинца, цинка и марганца во вторичных ореолах рассеяния.

Анализ пространственного распределения критериев и признаков золотоносности показывает, что последние проявлены как в западной, так и в восточной части исследуемой территории. Область с максимальной плотностью прямых признаков золота сосредоточена в пределах 15-25 километровой зоны влияния Ишимбинского разлома. За пределами этой зоны плотность признаков золоторудных объектов заметно снижается. Максимально отстоят от Ишимбинского разлома и гранитоидных интрузий в восточном направлении россыпные и коренные золоторудные объекты Иочиминского потенциального рудного узла.

**2. Наиболее удаленные к востоку от Ишимбинского разлома и гранитоидных интрузий золотоносные зоны Иочиминского потенциального рудного узла локализируются в филлитизированных сланцах среднеудерейской подсветы и представлены низкотемпературными метасоматитами кварц-серицит-хлоритового состава. Локализованные в них золотоносные кварцевые прожилки сформировались при температурах 100-320 °С из флюидов водно-хлорид-натриевого и водно-углекислотного состава и содержат убогую галенит-пирит-халькопиритовую минерализацию.**

В геологическом строении Иочиминского ПРУ принимают участие осадочные метаморфизованные карбонатно-терригенные образования среднерифейского возраста (удерейская и погорюйская свиты), неметаморфизованные венд-кембрийские (суворовская и немчанская свиты) и кембрийские отложения (лебяжинская и оленчиминская свиты), а также современные аллювиальные отложения.

В структурно-тектоническом отношении рудный узел расположен на стыке структур Енашиминского поднятия, Кордо-Лебяжинского синклиория и Олончиминской синклинали. Большая часть узла приурочена к западному пологопадающему (10-20°) крылу Иочиминской синклинали, осложнённого складками более высоких порядков с разнообразной конфигурацией.

Выявленное в результате поисковых работ 2004-2006 гг. Иочиминское рудопоявление расположено в междуречье рек Кото и Иочимо (рисунок 2 а). Пространственно оно совпадает с аномалией золота во вторичных ореолах рассеяния интенсивностью до 1,5 г/т и размером 5,8 × 3,5 км, оконтуренной по изоконцентрате 20 мг/т. Оруденение не прослежено на глубину, а с поверхности заверено лишь единичными линиями шурфов. Суммарная мощность вскрытых золотоносных метасоматитов около 30 м. Содержание золота в них изменяется 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 составило 36,1 г/т.

Площадь, примыкающая к Иочиминскому рудопоявлению, имеет блоковое строение. В рельефе блоковость выражена в виде серии плосковершинных хребтов северо-восточного простирания (Рисунок 2 б). Структурные блоки имеют прямоугольную форму и ограничиваются с юго-востока и северо-запада зонами разрывных нарушений. Разрывные структуры северо-западного простирания представляют собой линейно вытянутые зоны расланцевания и дробления.

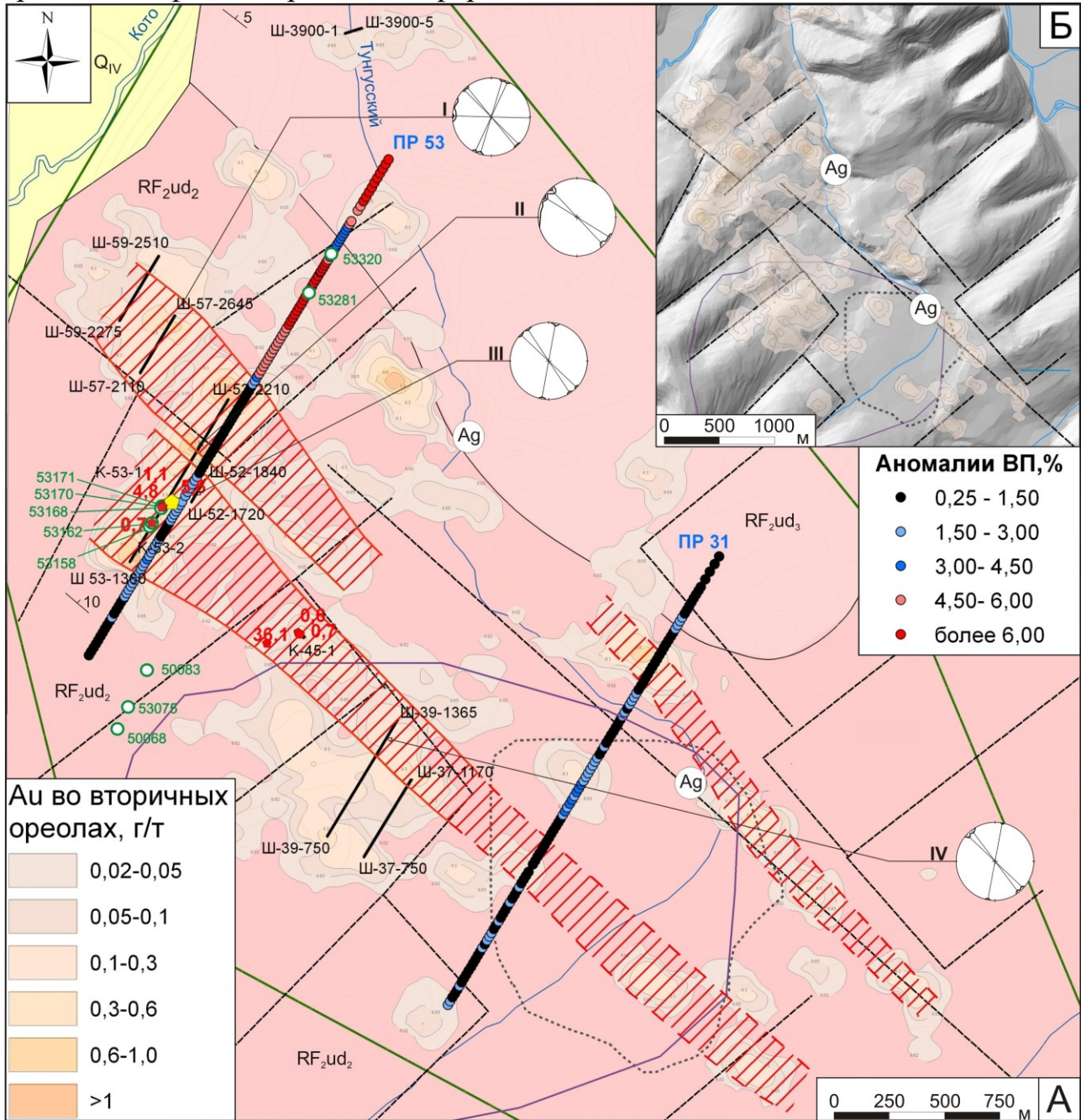
Согласно замерам ориентировки трещиноватости, к которой приурочено кварцевое прожилкование, установлено, что в формировании структуры рудной зоны, в основном, принимают участие две системы трещин: северо-западного и северо-северо-восточного простирания. Развитие трещин с субширотной ориентировкой носит эпизодический характер. Вдоль развития субвертикальных трещин наблюдается смятие пород в виде плейчатости, гофрировки. Расланцовка пород, как правило, совпадает со слоистостью, образуя острый угол лишь на крыльях небольших складок.

Вмещающие оруденение породы, в целом, представляют собой в разной мере филлитизированные глинистые сланцы и, реже, мелкозернистые песчаники среднеудерейской подсвиты. В составе глинистых сланцев преобладают: глинистое вещество (до 30%), серицит (40-60%), кварц (до 40%), хлорит (ед. зерна) и гетит (до 5%). В кварцитовидных песчаниках главным и, иногда, единственным минералом породы является кварц. В меньшей степени распространены гидрооксиды железа и единичные зерна пирита.

В тектонически ослабленных зонах на фоне увеличения степени филлитизации и филлонитизации, наблюдается хлоритизация, карбонатизация, окварцевание и сульфидизация околорудного пространства. В составе измененных пород по мере приближения к рудной зоне практически исчезают реликты глинистого вещества, и увеличивается количество хлорита, кварца и кальцита, образующих секущие сланцеватость микропрожилки мощностью до 0,5 мм. В составе золотоносных метасоматитов преобладают кварц 30-65 %, серицит 30-60 %, хлорит 7-30 %, кальцит 0-5%, рудные минералы 3-35 %. Среди рудных минералов отмечаются гетит, гематит, пирит, халькопирит, галенит, золото, марказит, малахит. Золото в аншлифах не наблюдается, а встречается лишь в виде мелких (до 0,1 мм) зерен пластинчатой и крючковатой формы в искусственных препаратах, изготовленных из концентрата протолочек.

Изучение изменчивости химического состава вмещающих минерализованную зону сланцев и метасоматитов Иочиминского проявления

показало, что метасоматические изменения вмещающих глинистых сланцев выразились в достаточно значительном выносе калия (60,81 %), натрия (66,67 %), титана (46,15%) а также около 40 % марганца и 26,97 % алюминия. В то же время наблюдается существенный привнос в зону метасоматоза кальция (71,43%), железа (51,9%), магния (47,06%) и кремния (20,28%). По химическому и минеральному составу метасоматиты участка близки породам хлорит-карбонатной фации березитовой формации.



Условные обозначения

- Q<sub>IV</sub> 1  
 RF<sub>2</sub>ud<sub>2</sub> 2  
 RF<sub>2</sub>ud<sub>3</sub> 3  
 — 4  
 - - - - 5  
 / \ 10 6  
 - - - - - 7  
 / \ 8  
 / \ 9  
 ● 10  
 (Ag) 11  
 — 12  
 — 13  
 ◆ 14  
 ○ 15  
 □ 16

Рисунок 2 – Геологическая карта (А) и карта теневого рельефа (Б) Иочиминского рудопроявления: 1 – современные аллювиальные отложения (галечники, суглинки, супеси), 2 – среднеудрейская подсвита (серцит-хлоритовые, филлитизированные глинистые сланцы), 3 – верхнеудрейская подсвита (филлитизированные глинистые и алевролит-глинистые сланцы), 4 – геологи-

ческие границы, 5 – предполагаемые тектонические нарушения, 6 – элементы залегания пород, 7 – контур геоморфологической депрессии, 8-9 – минерализованные зоны (8 – прослеженные, 9 – предполагаемые), 10 – бороздовые пробы с высокими содержаниями золота, 11 – точечные гидрогеохимические аномалии серебра, 12 – контур гидрогеохимической аномалии олова, 13 – линии шурфов, 14 – место взятия большеобъемной пробы подпочвенных отложений, 15 – места взятия проб на силикатный анализ, 16 – контур поискового участка Иочиминский

Термобарогеохимическими исследованиями золотоносных кварцевожильных образований Иочиминского рудопроявления установлено, что формирование золоторудных зон происходило при температурах от 100 до 320 °С, при участии рудогенерирующих растворов преимущественно водно-хлорид-натриевого и водно-углекислотного состава (рисунок 3).

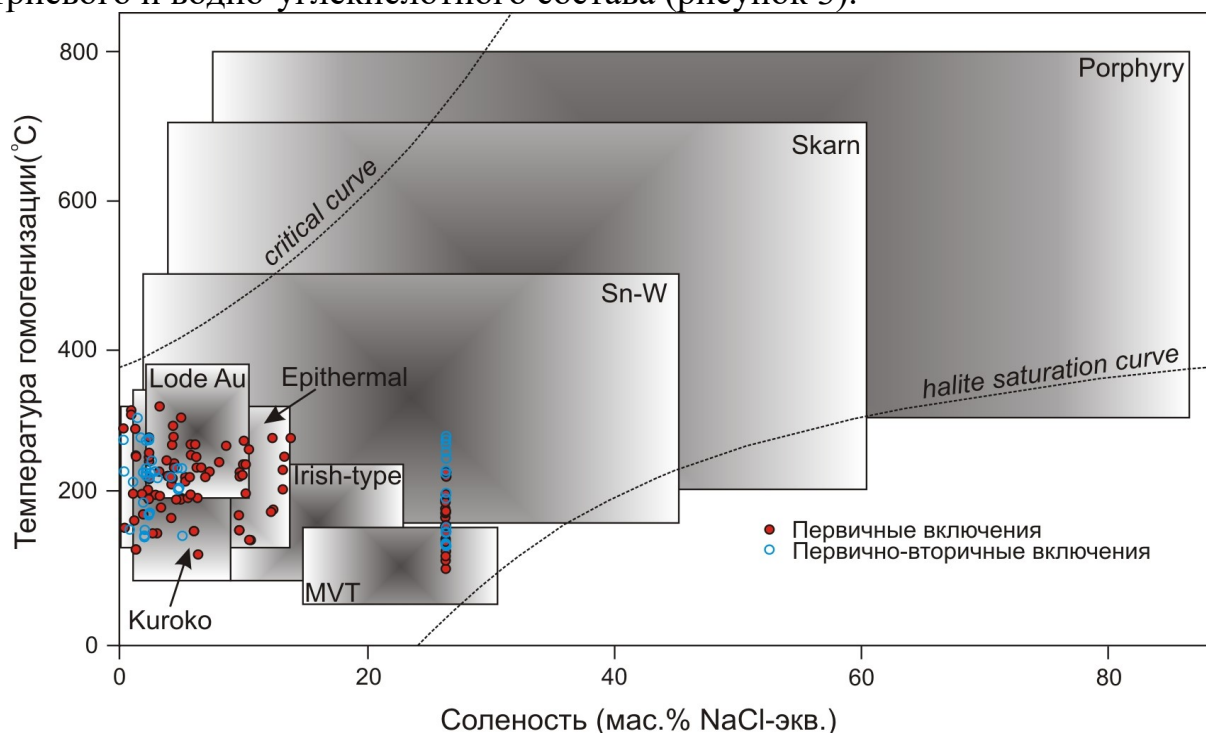


Рисунок 3 – Соотношение температуры гомогенизации и солёности растворов флюидных включений в кварце Иочиминского рудопроявления на фоне разных типов рудоносных флюидов по диаграмме Wilkinson J.J.

Показатель солёности рудогенерирующих растворов согласно фазовой диаграмме системы NaCl – H<sub>2</sub>O колеблется в интервале 0,2-26,2 мас.% NaCl-экв. Углекислота во включениях встречается эпизодически, находится в составе как однофазных, так и двухфазных включений водно-углекислотного и углекислотного состава. Концентраций азота и метана по результатам криометрических исследований и единичных замеров методом КР-спектроскопии в составе включений не установлено. Плотность углекислоты в растворе включений, согласно замерам частичной гомогенизации, варьирует достаточно существенно (0,47-1,00 г/см<sup>3</sup>) что говорит об изменении величины давления раствора по мере его эволюции, которое в целом не превышает 0,2-2,2 кБар.

**3. Формирование золоторудных объектов Нижне-Чиримбинского, Вангашского и Иочиминского потенциальных рудных узлов происходило на фоне постепенного уменьшения температур и давлений рудоносных растворов, а также снижения интенсивности складчатых деформаций по**

мере их удаления от интрузий гранитоидов и Ишимбинского глубинного разлома. На вещественно-минеральном уровне это выразилось в снижении масштабов метасоматических преобразований и уменьшении разнообразия рудных минералов в рудных зонах и породах околорудного пространства.

Сравнительный анализ условий локализации и вещественного состава рудоносных зон Иочиминского, Нижне-Чиримбинского и Вангашского потенциальных рудных узлов показывает их существенные отличия (таблица. 1).

Ведущими факторами, обуславливающими различия этих рудных объектов, очевидно, являются удаленность от Ишимбинского глубинного разлома и интрузивных комплексов в центральной части Енисейского кряжа. По мере удаления на восток влияние этих факторов заметно ослабевает, и, в конечном итоге, приводит к «затуханию» как самого золоторудного процесса, так и сопровождающего его преобразования всего околорудного пространства.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика рудных объектов Нижне-Чиримбинского, Вангашского и Иочиминского потенциальных рудных узлов

Закономерности локализации и элементы поисковой модели	Нижне-Чиримбинский ПРУ (на примере рудопроявления Марокское)	Вангашский ПРУ (на примере рудопроявления Борковское)	Иочиминский ПРУ (Иочиминское рудопроявление)
1	2	3	4
Расстояние от Ишимбинского разлома/от интрузий гранитоидов	10/13	18/15	35/35
Тектоническая позиция	Восточное крыло антиклинальной складки	Ядерная часть антиклинальной складки	Западное пологопадающее крыло синклинальной складки
Вмещающие породы	Метапесчаники, сланцы кварц-серицит-хлоритового, кварц-серицит-биотит-хлоритового состава горбилкокской свиты (хлоритовая и биотитовая субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, в зонах тектонических дислокаций наложена эпидот-амфиболитовая фация)	Метапесчаники, сланцы кварц-серицит-хлоритового, кварц-серицит-биотит-хлоритового состава горбилкокской свиты (хлоритовая и биотитовая субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, в зонах тектонических дислокаций наложена эпидот-амфиболитовая фация)	Глинистые сланцы и песчаники среднеудерейской подсвиты (катагенез, хлоритовая субфация зеленосланцевой фации регионального метаморфизма)
Рудная минерализация	Самородное золото, арсенопирит, скородит, пирротин, пирит, марказит, мельниковит, халькопирит, сфалерит, ильменит, магнетит, рутил, ковеллин, галенит	Самородное золото, арсенопирит, пирротин, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, кобальтин, ульманит, герсдорфит, висмутин, самородный висмут, антимонит	Пирит, халькопирит, галенит, самородное золото, марказит

1	2	3	4
Параметры рудоносных растворов и характеристика ГЖВ в кварце: 1) Основные компоненты; 2) Температура гомогенизации; 3) Давление; 4) Плотность 5) Степень солености; 6) Флюидонасыщенность кварца; 7) Коэффициент восстановленности	1) H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> (?), N <sub>2</sub> (?); 2) 150-430 °С;  3) 0,6-3,8 кБар; 4) 0,65-1,05 г/см <sup>3</sup> ; 5) 0,2 -26,5 мас.% NaCl-экв.; 6) 772-1377,4 мг/кг;  7) 0,004-0,19	1) H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> (?), N <sub>2</sub> (?); 2) 150-405 °С;  3) 1,5-3,4 кБар; 4) 0,86-1,06 г/см <sup>3</sup> ; 5) 0,9-26,3 мас.% NaCl-экв.; 6) 1044-1200 мг/кг;  7) 0,02-0,03	1) H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> (?), N <sub>2</sub> (?); 2) 100-320 °С;  3) 0,2-2,2 кБар; 4) 0,47-1,00г/см <sup>3</sup> ; 5) 0,2-26,2 мас.% NaCl-экв.; 6) 1221-2036 мг/кг;  7) 0,001-0,01
Спектр аномальных геохимических полей (в порядке убывания Кк)	<b>Au, W, As, Mn, Pb, Co, Al, Nb, Cu, Zn, Ag</b>	<b>Au, As, Ag, Bi, B, W</b>	<b>Au, As, Pb, Zn, Cu</b>
Отражение рудных зон в геофизических полях	Зоны сульфидизации выражены аномалиями ВП (до 1,5-4%). Кажущееся сопротивление пород изменяется в широком диапазоне от 1000 до 5000 Ом·м). Магнитное поле имеет вытянутые в субмеридианальном направлении очертания со значением от -50 до +800 нТл	Рудовмещающая толща характеризуется повышенной проводимостью (0,2-0,9 ln мСм/м), аномалиями ВП (5-12%) и магнитного поля (50-150 нТл), а также пониженным удельным электрическим сопротивлением (50-1000 Ом·м и надфоновыми значениями гамма-поля (10-13 мкР/ч) с повышенными концентрациями К и Th	Золотоносные минерализованные зоны выражены аномалиями ВП (до 1,5-3%). Магнитное поле спокойное (-50 ÷ +22 нТл)

В структурно-тектоническом плане золотое оруденение Заангарской части Енисейского кряжа тяготеет к тектонически ослабленным зонам с интенсивно проявленными складчатыми деформациями. Подобная закономерность, характерна и для рудных объектов Нижне-Чиримбинского и Вангашского ПРУ, где оруденение локализуется как в ядерной части складок, так и на их крыльях. Вмещающие оруденение породы интенсивно дислоцированы, часто обладают плейчатой текстурой и имеют крутое падение под углами 50-80°. Золотоносные породы Иочиминского потенциального рудного узла в виду удаленности от гранитно-купольных структур, в значительно меньшей степени затронуты пликативными деформациями, падение пород пологое (0-20°).

Уровень динамотермального метаморфизма пород, вмещающих Иочиминское рудопроявление, наиболее низкий по отношению ко всем другим

золоторудным объектам Северо-Восточного склона Енисейского кряжа (рудопроявления Марокское, Яхотинское, Средне-Яхотинское, Борковское, Огонек, Чушка и др.). Если для последних характерны хлоритовая и биотитовая ступени зеленосланцевой фации метаморфизма, а в зонах тектонических дислокаций местами наложена эпидот-амфиболитовая фация, то уровень метаморфических изменений вмещающих пород Иочиминского рудопроявления соответствует стадии катагенеза и местами, едва достиг хлоритовой ступени зеленосланцевой фации. Интенсивность метасоматических преобразований околорудного пространства (березитизация, хлоритизация, турмалинизация, серицитизация, окварцевание, карбонатизация) также заметно выше у относительно близких к зоне Ишимбинского разлома золоторудных объектов Нижне-Чиримбинского и Вангашского потенциальных рудных узлов.

Общая особенность золотоносных минерализованных зон выявленных к востоку от Ишимбинского разлома – убогая сульфидная минерализация. Содержание сульфидов не превышает 5%. Основные рудные минералы проявлений Вангашского и Нижне-Чиримбинского ПРУ: самородное золото, арсенопирит, пирит, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит. Другие минералы встречаются гораздо реже и определяют специфику того или иного рудопроявления. В пределах минерализованных зон Иочиминского рудопроявления отсутствует арсенопирит-пирротинная ассоциация, что нередко наблюдается во внешних зонах околорудного пространства ряда месторождений Енисейского кряжа (Советское, Благодатное, Кварцевая гора, Золотое и др.). Об отсутствии пирротинной минерализации свидетельствует и слабая намагниченность пород в непосредственной близости к рудным зонам. Прожилково-вкрапленные текстуры руд, характерные для минерализованных зон Вангашского и Нижне-Чиримбинского потенциальных рудных узлов, в пределах Иочиминского ПРУ отмечаются реже и даже для эпицентров рудоносных зон характерно вкрапленное оруденение.

Различия, наблюдаемые на геохимическом и минеральном уровне по мере удаления рудных объектов на восток от Ишимбинского разлома, очевидно, связаны с эволюцией рудогенерирующих растворов. Термобарогеохимические 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-хлорид-натриевые, водно-углекислотные растворы. Показатель солености этих растворов вне зависимости от удаленности от гранитных интрузий существенно не изменяется и 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 кряжа в результате криометрических исследований обнаружено не было. Несмотря на сходство компонентов рудоносных растворов сравниваемых площадей, следует отметить заметное снижение плотности углекислоты в его составе, что является индикатором постепенного уменьшения давления растворов от Нижне-Чиримбинского и Вангашского к Иочиминскому

потенциальному рудному узлу соответственно 0,6-3,8; 1,5-3,4 и 0,2-2,2 кБар. Уменьшение в данном направлении количества углекислоты подтверждается результатами газовой хроматографии. В изученных образцах Иочиминского рудного узла отмечается рост флюидонасыщенности кварца по отношению к кварцу Нижне-Чиримбинского и Вангашского рудных узлов, при этом доля углекислоты заметно снижается, что определяет уменьшенный коэффициент восстановленности рудоносных растворов от 0,004-0,19 и 0,02-0,03 в западной части склона до 0,001-0,01 в восточной. Помимо давления изменяется и температурный режим рудоносных гидротерм. Согласно данным термометрии для Нижне-Чиримбинского и Вангашского рудных узлов характерны температуры 150-430 и 150-405 °С соответственно, в то время как в пределах Иочиминского рудного узла температурный интервал существенно ниже и варьирует в диапазоне 100-320 °С. Установленные интервалы температур и давлений находятся в пределах максимально продуктивного температурного интервала, при котором формировались рудные зоны Советского месторождения.

В геохимическом поле сравниваемых потенциальных рудных узлов наиболее контрастно проявлены аномалии золота. Устойчивым спутником золота является мышьяк, образующий геохимические ореолы средней контрастности в непосредственной близости к эпицентру аномалий золота, либо на некотором удалении от них.

Сравнительный анализ условий формирования золотоносных минерализованных зон потенциальных рудных узлов указывает на постепенное снижение интенсивности рудного процесса и сопровождающего его метасоматоза по мере удаления на восток от зоны Ишимбинского разлома и интрузий гранитоидов. Вместе с тем, определенные термодинамические условия протекания рудного процесса, близкие по ряду параметров к золото-кварцевым объектам Советского рудного узла, масштабы и минералого-геохимические параметры золоторудных зон, свидетельствуют о целесообразности дальнейших поисков золота в пределах Северо-Восточной амагматичной части Енисейского кряжа. Здесь возможно обнаружение большеобъемных объектов жильно-штокверкового типа в тектонически осложненных породах кординской и удерейской свит. Поиски золота должны быть целенаправлены и на выявление новых нетрадиционных типов руд. Косвенным свидетельством вероятного обнаружения которых, может служить наличие потенциальных рудно-геохимических зон с аномалиями золота, урана мышьяка и других элементов в потоках рассеяния.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В процессе выполнения диссертационной работы на основании результатов изучения фондовой и опубликованной информации, а также обработки материалов, полученных в ходе полевых исследований, проведена оценка предпосылок и признаков коренной золоторудной минерализации в пределах амагматичного Северо-Восточного склона Енисейского кряжа. Установлено, что признаки коренной золотоносности распространяются значительно восточнее основных рудоконтролирующих структур в центральной части Енисейского кряжа.



На основе комплексного анализа прямых и косвенных признаков золотого оруденения выполнено металлогеническое районирование исследованной территории и оценены прогнозные ресурсы потенциальных рудных узлов и рудно-геохимических зон. Выявлены геолого-структурная позиция, минералого-геохимические особенности и термодинамические условия формирования рудоносных растворов наиболее удаленного к востоку от Ишимбинского разлома золоторудного объекта – Иочиминского рудопроявления. Термобарогеохимические исследования флюидных включений в кварцево-жильных образованиях Нижне-Чиримбинского, Вангашского и Иочиминского потенциальных рудных узлов показало, что формирование рудных объектов в пределах Северо-Восточного склона Енисейского кряжа проходило в условиях постепенного уменьшения температур и давлений рудогенных растворов, и сопровождалось уменьшением углекислоты в их составе. Интенсивность изменения температурного режима и давления свидетельствуют о возможности обнаружения новых промышленно значимых золотоносных объектов на существенном удалении от общепринятых рудоконтролирующих структур центральной части Енисейского кряжа и необходимости дальнейшего опосредованного исследования исследуемой территории. На площади Иочиминского рудопроявления выполнен комплекс опытно-методических работ, изучены формы нахождения золота и его элементов-спутников во вторичных ореолах рассеяния. С учетом результатов проведенных исследований предложен комплекс поисковых методов для обнаружения золотого оруденения на потенциально золотоносных площадях Северо-Восточного склона Енисейского кряжа.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Публикации в научных изданиях перечня аннотированных ВАК:*

1. **Фисенко, В.Г.** Геохимические критерии и термодинамические условия локализации золоторудной минерализации Северо-Восточного склона Енисейского кряжа / В.Г. Фисенко, В.А. Макаров // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. - № 6; URL: [www.science-education.ru/113-10818](http://www.science-education.ru/113-10818).
2. Макаров, В.А. Опыт применения технологии компьютерного прогнозирования золоторудных объектов в Заангарской части Енисейского кряжа / В.А. Макаров, С.М. Макеев, В.В. Межубовский, **В.Г. Фисенко**, М.А. Самородская // *Руды и металлы*. – 2012. – №3 – С. 50-57.

### *Публикации в прочих научных изданиях:*

3. **Фисенко, В.Г.** Перспективы выявления золотоносных кор выветривания в пределах Иочиминской площади (Енисейский кряж) / В.Г. Фисенко // *Материалы XIV международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения»*. – Новосибирск: ООО «Апельсин», 2010. – С. 680-682.
4. **Фисенко, В.Г.** Поведение золота и его элементов спутников в зоне гипергенеза Иочиминской рудной зоны / В.Г. Фисенко / *IV международный горно-геологический форум Мингео Сибирь 2010 и международный семинар «Платина в геологических формациях мира»*. Тез. докладов. – Красноярск: КНИИГиМС, 2010. – С. 63-68.

5. **Фисенко, В.Г.** Перспективы обнаружения золоторудных объектов в пределах Иочиминской площади (Енисейский кряж) / В.Г. Фисенко // Молодежь и наука: сборник материалов студенческой конференции [Электронный ресурс]. – Красноярск, 2010. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/4/75.pdf>.

6. **Фисенко, В.Г.** К вопросу об информативности методов при поисках золотого оруденения в пределах Иочиминской рудной зоны (Енисейский кряж) / В.Г. Фисенко // Тр. XV международного симпозиума им. Академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2011. – Т. I. – С. 200-202.

7. **Фисенко, В.Г.** Предварительные результаты изучения газово-жидких включений в кварце участка Иочиминский (Енисейский кряж) / В.Г. Фисенко // Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: сборник тезисов и статей Всероссийской конференции, г. Новочеркасск, 26-28 октября 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) – Новочеркасск: ЛИК, 2011. – С. 71-74.

8. **Фисенко, В.Г.** Термобарогеохимические особенности кварца золоторудных объектов Восточного склона Енисейского кряжа / В.Г. Фисенко // Молодежь и наука: сборник материалов студенческой конференции [Электронный ресурс]. – Красноярск, 2012. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s010/s010-003.pdf>.

9. Макаров, В.А. Динамично пополняемая прогнозно-металлогеническая карта на рудное золото Заангарской части Енисейского кряжа / В.А. Макаров, С.М. Макеев, В.В. Межубовский, **В.Г. Фисенко**, М.А. Самородская // Золото и технологии. – Февраль №1 (15). – 2012. – С. 62-70.

10. **Фисенко, В.Г.** Состав и термобарогеохимические особенности газово-жидких включений в кварце Восточного склона Енисейского кряжа / В.Г. Фисенко // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. трудов; под общ. ред. В.Е. Кислякова. – Красноярск: Сиб. федер. унт, 2012. – С. 432-437.

11. **Фисенко, В.Г.** Потенциальные золоторудные узлы и рудно-геохимические зоны Северо-Восточного склона Енисейского кряжа / В.Г. Фисенко, В.А. Макаров // Ц 27 Цветные металлы – 2013: Сб. научн. статей. Красноярск: Версо, 2013. – С. 49-55.