

На правах рукописи



ДВОРНИК Геннадий Петрович

**МЕТАСОМАТИЗМ И ЗОЛОТОПОРФИРОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ
КАЛИЕВЫХ ЩЕЛОЧНЫХ МАССИВОВ**

**Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора
геолого-минералогических наук

Томск – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт геологии и геохимии имени академика А. Н. Заварицкого» Уральского отделения Российской академии наук, лаборатории геохимии и рудообразующих процессов, г. Екатеринбург

Научный консультант: академик РАН, профессор, доктор геолого-минералогических наук Коротеев Виктор Алексеевич

Официальные оппоненты:

Юргенсон Георгий Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» (г. Чита), заведующий лабораторией геохимии и рудогенеза

Калинин Юрий Александрович, доктор геолого-минералогических наук, доцент, ФГБУН «Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева» Сибирского отделения РАН, (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), заведующий лабораторией прогнозно-металлогенических исследований

Макаров Владимир Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (СФУ, г. Красноярск), заведующий кафедрой геологии месторождений и методики разведки

Ведущая организация – Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского», г. Санкт-Петербург.

Защита состоится 25 мая 2016 г. в 14 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, (20-й корпус, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/914/worklist>

Автореферат разослан «___» февраля 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
к. г.-м. н., доцент

 Л. В. Жорняк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Массивы калиевых щелочных пород традиционно рассматривались как источники глиноземного, апатитового сырья, редкометальной минерализации и калийных удобрений. В последние десятилетия они привлекли к себе пристальное внимание и как реальные источники коренного золота. В этот период были проведены поисковые, разведочные и тематические работы по изучению прожилково-вкрапленного золотого оруденения в мезозойских вулкано-плутонах Центрально-Алданской щелочной провинции в Якутии (месторождения Рябиновое и Новое в рябиновском комплексе, рудопроявления Якокутского, Ыллымахского, Томмотского и Мрачного массивов). Благоприятные предпосылки для выявления золотопорфирового оруденения имеются и в других щелочных комплексах Восточной Сибири, Урала, Казахстана, Кавказа. В этом аспекте актуальной проблемой является проведение обобщающих исследований, направленных на изучение закономерностей размещения и условий образования метасоматических пород и сопровождающего их золотого оруденения в калиевых щелочных массивах с целью разработки его поисковых критериев и признаков.

Цель и задачи исследований. Основная цель работы – формирование геологических основ прогнозирования и поисков золотопорфирового геолого-промышленного типа оруденения в калиевых щелочных массивах. Для этого решались следующие задачи:

1. Типизация основных метасоматических процессов в калиевых щелочных массивах.
2. Изучение вещественного состава и условий образования метасоматических пород в рудоносных калиевых щелочных комплексах.
3. Выяснение условий размещения и формирования золотопорфирового оруденения в серицит-микроклиновых метасоматитах в калиевых щелочных массивах.
4. Разработка прогнозно-поискового комплекса на золотопорфировый тип оруденения в массивах калиевых щелочных пород.

Фактический материал. Основу диссертации составляют личные материалы автора, собранные в период с 1979 г. по настоящее время при проведении полевых и научно-исследовательских работ в калиевых щелочных массивах в Центрально-Алданском рудном районе Якутии, поисковых маршрутов в пределах щелочных комплексов Урала, систематизации и обобщения фондового и литературного материала по отечественным и зарубежным месторождениям и рудопроявлениям золота в калиевых щелочных массивах и потенциально рудоносным щелочным комплексам Восточной Сибири, Урала, Казахстана и Кавказа. В пределах щелочных комплексов автором в полевые сезоны пройдены сотни километров геологических маршрутов, задокументировано несколько тысяч погонных метров разведочных выработок. При подготовке работы обработано более 2300 химических анализов метасоматических пород и их эдуктов, 2000 спектральных анализов

пород и руд, более 7500 пробирных анализов руд на золото и серебро, проведен морфометрический анализ более 10000 золотин из окисленных руд, шлиховых ореолов и россыпей, выполнено свыше 400 микронзондовых анализов химического состава золотин, изучены физические свойства более 700 штучков магматических и метасоматических пород.

Научная новизна.

1. Разработана систематика метасоматических пород по кислотно-основным свойствам, установлены существенные различия по характеру связи с эдуктом между метасоматитами по алюмосиликатным и карбонатным породам.
2. Проведена типизация метасоматических процессов в калиевых щелочных массивах с выделением железо-калиевого, водородно-калиевого и кремнежелезо-калиевого типов метасоматизма.
3. Определены параметры поверхностной энергии и энергии порообразования в процессе формирования рудоносных серицит-микроклиновых метасоматитов в щелочных комплексах.
4. Установлена вертикальная зональность в распределении золотопорфирового оруденения в месторождениях и рудопроявлениях в калиевых щелочных массивах.
5. Выявлены закономерности строения шлиховых ореолов золота в элювиально-делювиальных отложениях над рудными штокверками в комплексах калиевых щелочных пород.
6. Предложен прогнозно-поисковый комплекс на золотопорфировый тип оруденения в калиевых щелочных массивах.

Защищаемые положения. 1. В пределах калиевых щелочных массивов последовательно проявились процессы железо-калиевого, водородно-калиевого и кремнежелезо-калиевого метасоматизма, в результате которых соответственно сформировались дорудные фениты, рудоносные серицит-микроклиновые метасоматиты и пострудные кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты.

2. Распределение золотопорфирового оруденения в серицит-микроклиновых метасоматитах, концентраций золота и серебра в рудных телах, сформировавшихся в калиевых щелочных массивах, подчиняется вертикальной зональности, выраженной на рудном уровне в закономерной смене с глубиной золотополиметаллического типа оруденения на золотомедный тип и развитию на надрудном уровне непромышленной вкрапленной золоторудной минерализации.

3. Перспективы калиевых щелочных массивов на золотопорфировый тип оруденения оцениваются по комплексу поисковых критериев (магматического, литологического, структурного, геоморфологического) и признаков (коренные выходы и механические ореолы рассеяния рудного вещества; шлиховые ореолы золота в элювио-делювии; аллювиальные россыпи золота; околорудные серицит-микроклиновые метасоматиты; геохимические ореолы золота, серебра, меди; геофизические аномалии).

Практическая значимость. Проведенное исследование закономерностей размещения и условий образования серицит-микроклиновых метасоматитов и сопряженного золотопорфирового оруденения в калиевых щелочных массивах привело к разработке прогнозно-поискового комплекса, выделению поисковых критериев и признаков и соответствующих им методов поисковых работ, позволяющих разделить в процессе прогнозирования потенциально рудоносные площади в щелочных комплексах по степени их перспективности и выделить первоочередные участки для проведения поисковых работ на золото. Конкретные рекомендации по направлению поисковых работ на золотопорфировый тип оруденения в калиевых щелочных комплексах изложены в отчетах о научно-исследовательских работах по договорам с ГУП «Алдангеология», проводившихся в Центрально-Алданском рудном районе Якутии в период с 1979 по 2002 гг. Материалы исследований использованы автором при проведении учебных занятий со студентами Уральского горного университета, подготовке учебных пособий по опробованию, оконтуриванию и подсчету запасов месторождений, их геолого-экономической оценке.

Публикации и апробация результатов работы. Результаты исследований изложены в 120 опубликованных научных работах, в т.ч. в монографии и 10 статьях в рецензируемых журналах по списку ВАК. Основные научные положения работы, защищаемые в диссертации тезисы обсуждались на 28 международных, российских и региональных конференциях по проблемам металлогении, магматизма, метасоматизма и рудообразования, разведки месторождений в городах: Екатеринбурге (1997-2004, 2007, 2008, 2012), Иркутске (2005, 2007), Красноярске (2006, 2007, 2010), Магадане (2011), Миассе (2005), Москве (1999, 2007), Нерюнгри (2000, 2007), Новочеркасске (1997), Перми (2012, 2013), Сыктывкаре (1997), Ташкенте (2001), Якутске (2009).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, списка литературы из 298 наименований. Объем работы 328 страниц с 77 рисунками и 68 таблицами. Во введении показаны актуальность исследований, цель и задачи работы, положенный в ее основу фактический материал, научная новизна и практическая значимость. В первой главе охарактеризованы геологическое строение и минералогия калиевых щелочных массивов восьми провинций, перспективных на золотопорфировый тип оруденения. Во второй главе рассмотрены основные метасоматические процессы, протекавшие в калиевых щелочных вулcano-плутонических комплексах, и формационные типы метасоматических пород (фениты, серицит-микроклиновые и кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты). В третьей главе разобраны условия образования золотопорфирового оруденения в серицит-микроклиновых метасоматитах, исследован характер распределения содержания золота и серебра в рудных телах на месторождениях и рудопроявлениях в калиевых щелочных массивах. В четвертой главе предложен прогнозно-поисковый комплекс на золотопорфировый тип

оруденения в массивах калиевых щелочных пород. В заключении сформулированы основные выводы по результатам проведенных исследований.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному консультанту академику В. А. Коротееву за поддержку и содержательные консультации по основным направлениям исследований.

Автор искренне благодарен всем своим коллегам, принявшим участие в обсуждении основных разделов работы, оказавшим помощь в проведении полевых и лабораторных исследований, обработке и оформлении результатов: А. Н. Угрюмову, В. А. Душину, А. Г. Баранникову, А. Б. Макарову, В. Ф. Рудницкому, И. А. Малахову, В. С. Балахонову, С. Г. Фролову, Н. Г. Валиеву, В. В. Мурзину, А. Ю. Кисину, В. К. Эльюеву, В. А. Кискину, С. В. Акуловой, Е. А. Таштимировой, Л. А. Деминой, Г. Б. Хасановой, И. В. Пологовой, А. В. Петровой.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ПОЛОЖЕНИЕ 1. В пределах калиевых щелочных массивов последовательно проявились процессы железо-калиевого, водородно-калиевого и кремне-железосиликатного метасоматизма, в результате которых соответственно сформировались дорудные фениты, рудоносные серицит-микроклиновые метасоматиты и пострудные кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты.

В мире выделяется более 20 провинций калиевых щелочных пород. Геотектоническая позиция калиевых щелочных комплексов определяется приуроченностью их к зонам тектоно-магматической активизации (рифтогенеза) земной коры независимо от ее строения (древние платформы, щиты или консолидированные складчатые области) (Андреев, 1981; Еремеев, 1984; Андреева и др., 1984). Калиевые щелочные комплексы рассматриваются, прежде всего, как источники глиноземного, апатитового сырья, редкометальной минерализации и калийных удобрений (Андреев, 1981; Еремеев, 1984 и др.). В последние тридцать лет в развитых в их пределах гидротермально измененных щелочных породах выявлены месторождения и рудопроявления меди и благородных металлов (золота, серебра, платины) порфирирового типа (Астафьев, 1983; Дворник, 1992; Ветлужских и др., 2002; Кочетков и др., 1989; Эльюев, 1994; Mutschler et al, 1985). Среди выделенных провинций калиевых щелочных пород рассмотрим более подробно 8 провинций, в пределах которых проявились постмагматические метасоматические процессы микроклинизации и серицитизации (таблица 1). В шести провинциях (Центрально-Алданской, Западно-Алданской, Уральской, Северо-Казахстанской, Центрально-Казахстанской, Северо-Кордильерской) в связи с этими процессами установлены проявления благороднометальной минерализации. Остальные две провинции (Северо-Прибайкальская, Армянская) рассматриваются как потенциально золотоносные.

Таблица 1

Минерагения провинций калиевых щелочных пород

Провинции	Массивы	Ассоциации магматических пород	Возраст пород, млн. лет	Характерные метасоматические процессы	Полезные ископаемые
Центрально-Алданская	Рябиновский Якутский Ыллымахский Томмотский Мрачный Джеккондинский	Трахиты, псевдолейцитовые фонолиты, шонкиниты, лаурвикиты, щелочные сиениты	120-170	Скарнирование, фенитизация, микроклинизация, серицитизация, эгиринизация, джаспероидизация	Золото, серебро, медь, полевошпатовое сырье, мусковит
Западно-Алданская	Мурунский Южно-Сакунский	Шонкиниты, псевдолейцитовые сиениты, пуласкиты, сынныриты	120-165 283-348	Скарнирование, фенитизация, карбонатизация, микроклинизация, серицитизация, эгиринизация	Глиноземное, полевошпатовое сырье, мусковит, калийные удобрения, чароит, золото
Северо-Прибайкальская	Сыннырский, Якшинский	Шонкиниты, псевдолейцитовые сиениты, пуласкиты, сынныриты	288-350	Фенитизация, микроклинизация, серицитизация	Глиноземное, полевошпатовое сырье, калийные удобрения, мусковит, апатит
Уральская	Полевской, Нязепетровский, Ильмено-Вишневогорский	Трахиты, псевдолейцитовые фонолиты, шонкиниты, нефелиновые, щелочные сиениты	220-450	Фенитизация, карбонатизация, микроклинизация, серицитизация, эгиринизация	Полевошпатовое сырье, редкометалльное оруденение, золото
Северо-Казахстанская	Красномайский, Ишимский, Каратальский	Псевдолейцитовые фонолиты, трахиты, шонкиниты, щелочные сиениты	300-414	Фенитизация, карбонатизация, альбитизация, микроклинизация, серицитизация	Глиноземное, полевошпатовое сырье, корунд, мусковит, апатит, золото
Центрально-Казахстанская	Карасорский, Борсуксайский Карсакапайский Абаевский Косистекский	Шонкиниты, нефелиновые, щелочные сиениты	223-353	Фенитизация, альбитизация, микроклинизация, серицитизация	Глиноземное, полевошпатовое сырье, мусковит, золото
Армянская	Тежсарский	Лейцитовые фонолиты, трахиты, нефелиновые, щелочные сиениты	32-41	Альбитизация, микроклинизация, серицитизация	Глиноземное, полевошпатовое сырье, мусковит, калийные удобрения
Северо-Кордильерская	Аллард Шток, Коппер Маунтин, Инжербелл, Гэйлор Крик, Гус Лейк, Пирамид	Трахиты, меланократовые, лейкократовые сиениты	65-205	Пропилитизация, биотитизация, калишпатизация, серицитизация	Медь, золото, серебро, платиноиды

В пределах калиевых щелочных вулкано-плутонических комплексов проявились разнообразные метасоматические процессы (таблица 1). Среди них наиболее распространенными являются дорудные процессы фенитизации, протекавшие в контактовых зонах массивов с вмещающими алюмосиликатными породами, и рудоносные процессы микроклинизации и серицитизации в щелочных сиенитах и породах вулканогенной кровли (щелочных трахитах, псевдолейцитовых фонолитах). В отдельных массивах проявлены также пострудные процессы кварц-эгирин-микроклинового метасоматоза, наложенные на поздние дайки грорудитов, эгириновых граносиенитов и щелочных гранитов.

Метасоматиты фенитовой формации получили достаточно широкое распространение в Центрально-Алданской провинции в контактовых зонах мезозойских щелочных сиенитов и трахитов с архейскими породами (гранитами, гранито-гнейсами, кристаллическими сланцами). Ширина ореолов фенитизации в этих зонах составляет сотни метров. В результате процессов эгиринизации и сопутствовавшего им калиевого ощелачивания полевых шпатов, выделяемых нами как железо-калиевый метасоматизм, в породах массивов возникли эгирин-ортоклазовые метасоматиты, в породах обрамления – фениты. Радиологический возраст фенитов по данным К-Аг метода - 137-143 млн. лет. В рябиновском комплексе процессы железо-калиевого метасоматизма проявились после полной кристаллизации пуласкитов и сиенит-порфиоров. Фенитизация щелочных пород комплекса завершилась до внедрения сиенит-пегматитов и нордмаркитов, жилы которых секут эгиринизированные щелочные сиениты и трахиты. Такие соотношения этих пород установлены на участке Рябчик, расположенном в центральной части рябиновского комплекса. Наиболее полные метасоматические колонки, характеризующие процесс фенитизации, изучены нами в восточной краевой части рябиновского комплекса, где фениты постепенно переходят в эгирин-ортоклазовые метасоматиты. Во внешней зоне таких колонок по архейским гранитоидам развиваются кварц-полевошпатовые метасоматиты, во внутренней зоне образуются фениты, состоящие преимущественно из калиевого ортоклаза и пироксенов рода эгирина.

Изменение химического состава при формировании апогранитных фенитов состоит в привносе в элементарный объем породы ионов калия, трехвалентного железа, алюминия, выносе ионов кремния, двухвалентного железа и резком увеличении общей основности (рисунок 1), рассчитанной по методу протонного эквивалента, предложенному А.А.Маракушевым (1979). При развитии пироксен-полевошпатовых метасоматитов по щелочным сиенитам изменение их минерального состава в условиях железо-калиевого метасоматизма заключается в переходе натрового ортоклаза в его калиевую разновидность, замещении пироксенов рода авгита эгирином по следующей схеме:



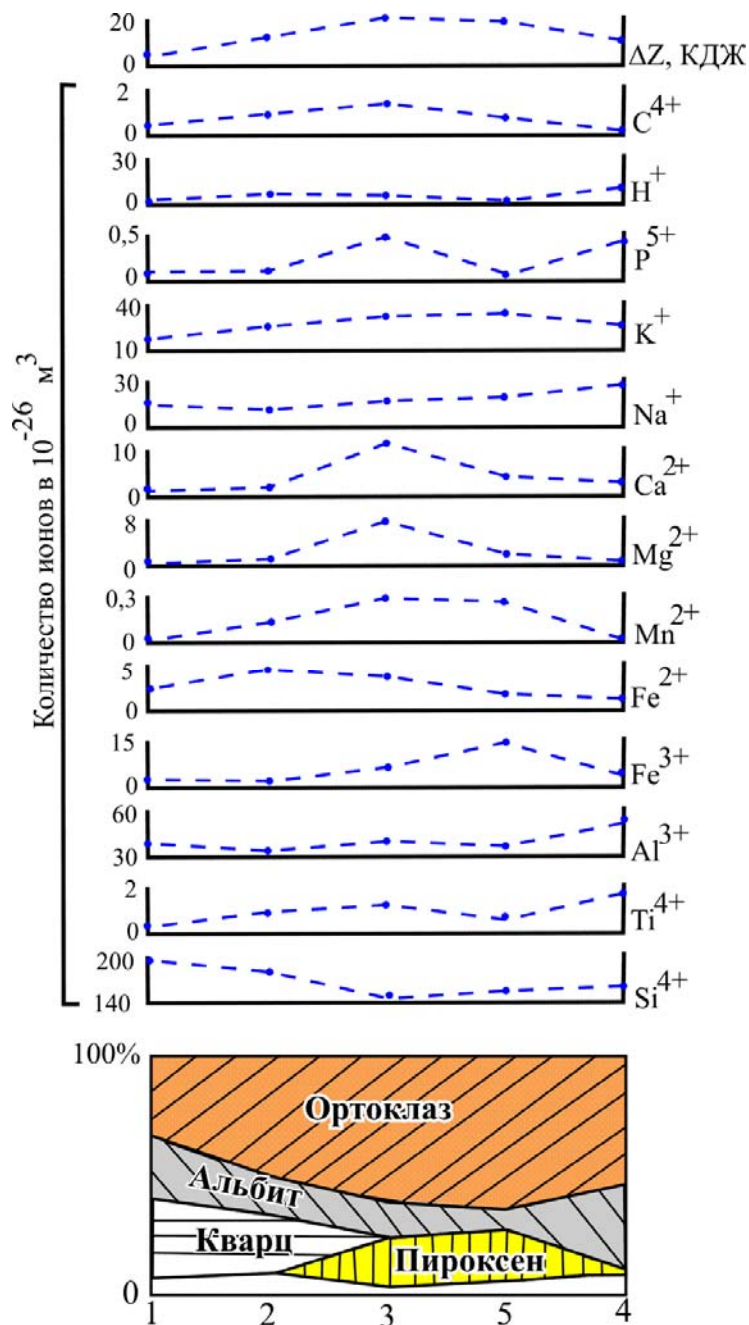


Рисунок 1. – Изменение минерального состава, содержания петрогенных компонентов и общей основности пород (ΔZ) при формировании метасоматитов фенитовой формации в контактовой зоне щелочных сиенитов рябиновского комплекса с архейскими гранитами.

1- гранит, 2 - кварц-полевошпатовый метасоматит, 3- фенит апогранитный, 4 - пуласкит, 5 – фенит апопуласкитовый.

Состав калиевого полевого шпата в эндофенитах и щелочных сиенитах по величине коэффициента моноклинности колеблется от промежуточного до максимального ортоклаза. По своему химическому составу пироксены из фенитов рябиновского комплекса соответствуют эгирину и эгирин-авгиту.

Образование фенитов связано с проявлением ранней щелочной стадии в эволюции трансмагматических флюидов. Главной особенностью процесса железо-калиевого метасоматизма в контактовых ореолах рябиновского щелочного комплекса явилась десиликация исходных пород, обусловленная замещением в них кварца и плагиоклаза ортоклазом и пироксеном.

В стадию кислотного выщелачивания эгирин в фенитах становится неустойчивым и замещается агрегатом кварца и гематита. На поздней щелочной стадии происходит образование жил и прожилков кварц-кальцит-баритового состава с вкрапленностью галенита. Для состава водных вытяжек из кварца барит-полиметаллически-кварцевых жил характерно низкое отношение концентраций ионов калия и натрия, высокое отношение содержаний ионов кальция и магния, присутствие в остаточных растворах сульфат-ионов.

Геохимическая специализация апосиенитовых фенитов рябиновского щелочного комплекса смешанная сидеро-халькофильная. Они характеризуются в сравнении с эдуктами повышенной концентрацией хрома, серебра, меди, цинка, выделяются также высоким значением полиметаллического индекса – $(Pb \times Zn)/(Cu \times Mo)$.

В Западно-Алданской провинции метасоматиты фенитовой формации широко распространены в южном обрамлении Маломурунского мезозойского щелочного массива среди докембрийских кварцитовидных песчаников, алевролитов и гранитогнейсов. Химизм процессов фенитизации в экзоконтактовом ореоле мурунского комплекса характеризуется нарастающей десиликацией пород субстрата и увеличивающимся содержанием в них калия (Борисов и др., 1984). Ширина ореола фенитизации докембрийских пород составляет несколько км.

В Северо-Прибайкальской провинции процессы фенитизации проявились в экзоконтактовом ореоле Сыннырского щелочного массива (Тихоненкова и др., 1971). Фенитизации подверглись как кислые по составу вмещающие алюмосиликатные породы (песчаники, алевролиты, биотитовые сланцы, граниты), так и породы основного состава (эффузивы, зеленокаменные сланцы). Мощность зон фенитизации незначительная в пределах первых метров.

В Уральской щелочной провинции метасоматиты фенитовой формации распространены в экзоконтактовых ореолах ильмено-вишневогорского комплекса. Ширина ореолов контактово-реакционных фенитов в разных участках комплекса составляет от нескольких метров до нескольких сот метров (Левин, 1974). В контактовых зонах по лейкократовым кварцсодержащим вмещающим породам (гранитным мигматитам, гнейсам) образовались пироксеновые фениты, а по амфиболитам – амфиболовые, амфибол-биотитовые, амфибол-пироксеновые и более редкие пироксеновые фениты.

В Северо-Казахстанской щелочной провинции широкие поля фенитов образовались на контакте щелочных эффузивов (трахитовых порфиров) с интрузиями ишимского комплекса. По минералогическому составу фениты

подразделяются на следующие разновидности: 1) пироксен-амфиболовые, 2) биотит-амфиболовые, 3) биотитовые гнейсо-видные (Нурлыбаев, 1973).

Химический состав фенитов, сформировавшихся в условиях проявления процессов железо-калиевого метасоматизма в контактовых зонах рассмотренных комплексов калиевых щелочных пород, коррелируется с составом замещаемых ими пород. Образовавшиеся по породам кислого состава (гранитам, гнейсам) фениты характеризуются более низкой концентрацией кремнезема в сравнении с эдуктами. А пироксен-полевошпатовые метасоматиты, возникшие по породам основного состава (базальтам, амфиболитам), наоборот, выделяются более высокой концентрацией кремнезема в сопоставлении с исходными породами. Характерной особенностью химического состава рассмотренных метасоматитов фенитовой формации является также более высокая концентрация в них Fe_2O_3 в сравнении с содержанием FeO , что обусловлено высоким окислительным потенциалом щелочных фенитизирующих растворов. По экспериментальным исследованиям физико-химических условий фенитизации диапазон температур устойчивости минералов фенитовой формации (микроклин-пертита, эгирин-авгита, арфведсонита) составляет $500-800^{\circ}C$ (Зарайский, 1989; Коваленко и др., 1977), а рН флюида, равновесного с минеральными ассоциациями фенитов, равен 7-10 (Бардина и др., 1994; Сергеев, 1967).

Постмагматические метасоматические процессы микроклинизации и серицитизации проявились во всех рассмотренных автором провинциях калиевых щелочных пород (таблица 1). Сформировавшиеся в результате этих процессов серицит-микроклиновые метасоматиты образовали в пределах щелочных массивов штокообразные тела площадью от сотых долей $км^2$ до десятков $км^2$, прослеженные на глубину на сотни метров. Процессы, реализующиеся в условиях высокой активности в гидротермальных растворах ионов калия и водорода, отнесены к водородно-калиевому типу метасоматизма. В эволюции процессов водородно-калиевого метасоматизма отчетливо выделяются три последовательные стадии, соответствующие ранней щелочной, кислотного выщелачивания и поздней щелочной стадиям. Ранняя щелочная стадия характеризовалась высокой активностью ионов калия в гидротермальных растворах. Она проявилась в псевдоморфном развитии в щелочных сиенитах эталонного рябиновского комплекса нерешетчатого микроклина-1 по первичному ортоклазу и биотита по фемическим минералам (авгиту и эгирин-авгиту). Микроклиниты-1 обладают средне- и крупнозернистой структурой, весьма неоднородной по размеру зерен. В связи с псевдоморфным характером микроклинизации щелочных сиенитов рябиновского комплекса в раннюю щелочную стадию изменения значений поверхностной энергии и энергии порообразования в этом процессе практически не происходит (рисунок 2). Температура триклинно-моноклинного перехода щелочных полевых шпатов по экспериментальным данным составляет $550-400^{\circ}C$ (Сендеров и др., 1979). Величина общего давления в системе в связи с псевдоморфным характером метасоматического замещения

соответствовала минимальному литостатическому давлению магматической стадии – 100-150 МПа (Костюк и др., 1990). Завершило раннещелочную стадию отложение слабо золотоносных сульфидов: пирита кубической формы и более редких халькопирита и борнита в количестве от 2 до 5%.

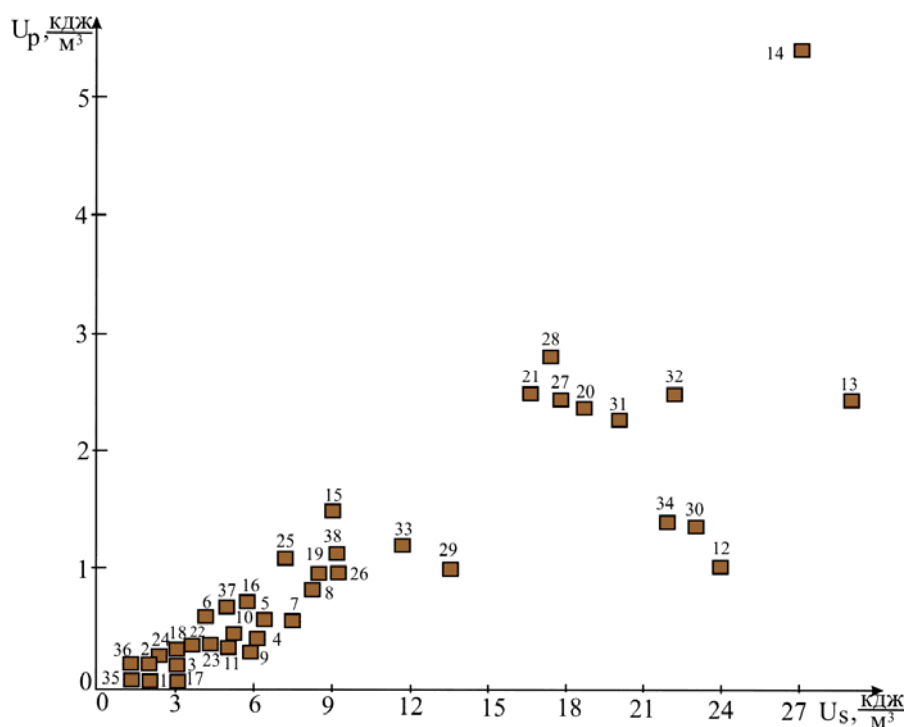


Рисунок 2. – Диаграмма зависимости между поверхностной энергией (U_s) и энергией порообразования (U_p) пород при формировании по щелочным сиенитам серицит-микроклиновых метасоматитов Центрально-Алданской провинции.

1-16 - рябиновский комплекс (1 - пуласкит, 2-3 - микроклиниты-1, 4-11 – серицитизированные микроклиниты, 12-14 - серицитолиты, 15-16 - микроклиниты-2); 17-21 - якутский комплекс (17 - пуласкит, 18 - микроклинит-1, 19 - серицитизированный микроклинит, 20 – серицитолит, 21 - микроклинит-2); 22-34 - ылыммахский комплекс (22 - щелочной сиенит, 23-24 - микроклиниты-1, 25-26 - серицитизированные микроклиниты, 27-32 – серицитолиты, 33-34 - микроклиниты-2); 35-38 - томмотский комплекс (35 - щелочной сиенит, 36 - микроклинит-1, 37 - серицитизированный микроклинит, 38 - микроклинит-2).

Изменение химического состава щелочных сиенитов (пуласкитов, сиенит-пегматитов) при их микроклинизации состоит в привносе в зону реакции ионов калия, алюминия, выносе ионов натрия, кремния и увеличении общей основности пород (рисунок 3).

Стадия кислотного выщелачивания отвечала условиям повышения активности ионов водорода в гидротермальных растворах при некотором снижении активности ионов калия. Смена минеральных парагенезисов в эту стадию выразилась в замещении микроклина-1 в измененных щелочных сиенитах агрегатом серицита.

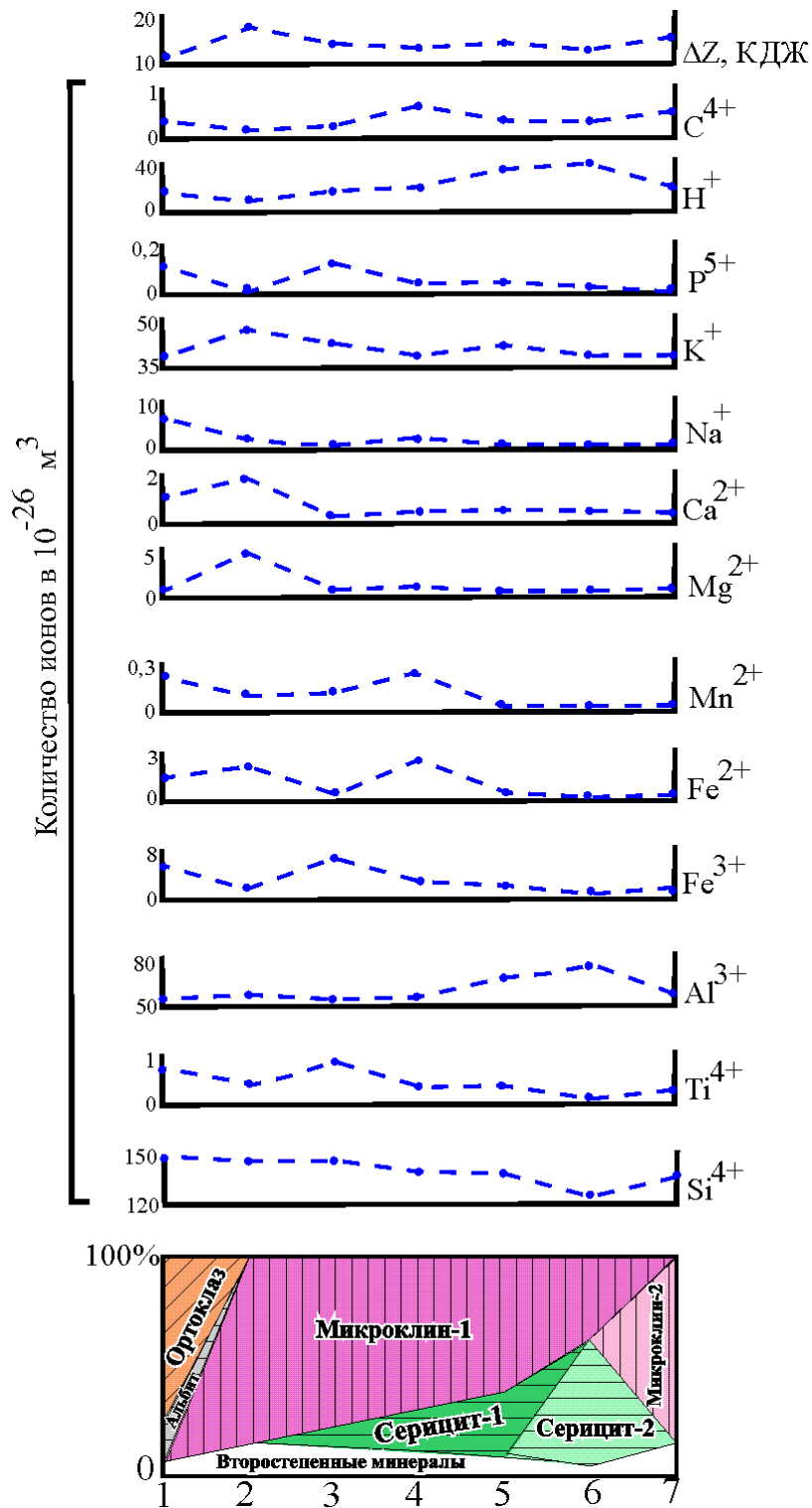
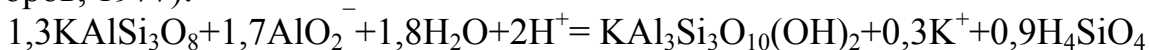


Рисунок 3. – Изменение минерального состава, содержания петрогенных компонентов и общей основности пород (ΔZ) при формировании серицит-микроклиновых метасоматитов по пуласкитам рябиновского комплекса.

1 - пуласкит, 2- апопуласкитовый микроклинит, 3 - слабо серицитизированный микроклинит, 4 - средне серицитизированный микроклинит, 5 - сильно серицитизированный микроклинит, 6 - серицитолит, 7 - микроклинит-2.

Развитие светлой слюды началось на стыках зерен микроклина, вдоль трещин в последних, и завершилось формированием во внутренней зоне метасоматической колонки тел серицитолитов среди серицитизированных микроклинитов по эгириновым сиенитам и сиенит-пегматитам. Процесс образования этих метасоматитов может быть описан равновесной реакцией замещения калиевого полевого шпата светлой слюдой под воздействием слабо кислых растворов (pH=6), рассчитанной для температуры 100° С и P=0,5 кбар (Говоров, 1977):



А формирование серицит-кварцевых метасоматитов, характерных для многих молибден-меднопорфировых месторождений, происходит по экспериментальным данным (Зарайский, 1989) при температуре 400° С и отношении в растворе концентраций KCl/HCl=20 в более кислых условиях (pH=1,4-1,6) по схеме:



Серициты «гнездового» выполнения по данным рентгено-структурного анализа 40 монофракций слюд, отнесенных к политипной модификации 2M, отчетливо отличаются по параметрам кристаллической решетки от слюд из тел серицитолитов.

Температура образования слюд из серицитизированных микроклинитов по мусковитовому геотермометру (Болтыров и др., 1974; Коротеев и др., 2010) находится в пределах 450-200°С, а слюд из серицитолитов – 300-100° С, давление в стадию кислотного выщелачивания составило 300-50 МПа.

Изменение химического состава при формировании в кислотную стадию серицитизированных микроклинитов и серицитолитов в колонке по пуласкитам выражено в привносе ионов водорода, алюминия, выносе ионов кальция, магния, уменьшении концентраций ионов калия и кремния и снижении общей основности пород (рисунок 3).

Поздняя щелочная стадия ознаменовалась новым повышением активности ионов калия в гидротермальных растворах и резким спадом активности ионов водорода. В этой обстановке продукты стадии кислотного выщелачивания замещались мелкозернистым агрегатом бледно-розового микроклина-2, образующего гнезда, жилы и прожилки. Микроклиниты-2 в сравнении с микроклинитизированными щелочными сиенитами рябиновского комплекса характеризуются более мелкозернистой, но также неоднородной по величине «относительной энтропии» структурой, более высокими значениями поверхностной энергии и энергии порообразования (рисунок 2). Совместно с микроклином -2 в позднюю щелочную стадию в метасоматических колонках по эгириновым сиенитам и сиенит-пегматитам Рябинового месторождения образовались адуляр, альбит, карбонат, барит, содержание которых в метасоматитах составляет первые проценты. Карбонат представлен доломит-анкеритом с небольшой долей родохрозитового компонента: $\text{Ca}_{0,5}\text{Mg}_{0,32}\text{Fe}_{0,15}\text{Mn}_{0,03}\text{CO}_3$. В нем обнаружены и изучены мелкие (10 мкм) первичные водные включения, состоящие из газовой (20%) и жидкой (80%) фаз

и характеризующиеся температурами гомогенизации, равными 175-183°C (Мызников и др., 2002). Флюидное давление при формировании мелкозернистых микроклинитов в позднюю щелочную стадию понизилось до 100-60 МПа (Наумов и др., 1995). Образование в позднюю щелочную стадию мелкозернистых микроклинитов в колонке по щелочным сиенитам характеризовалось привнесением в зону реакции ионов калия, кремния, выносом ионов алюминия, водорода и увеличением общей основности пород (рисунок 3).

Геохимическая специализация серицит-микроклиновых метасоматитов в рябиновском комплексе смешанная литохалькофильная, что определяет повышенную концентрацию в них серебра, золота, меди, молибдена, свинца, лития. Дифференциация рудных компонентов в зависимости от их кислотно-основных свойств выразилась в предпочтительном концентрировании меди и серебра в микроклинитах-2 и в меньшей степени - в микроклинитах-1, а молибдена – в серицитолитах. В процессе микроклинизации и серицитизации щелочных сиенитов сидерофильные элементы (хром, ванадий, кобальт, титан, марганец) в различной степени деконцентрируются, происходит также вынос литофильных элементов - бария, стронция, олова. В Центрально-Алданской провинции серицит-микроклиновые метасоматиты рябиновского комплекса выделяются на рудном уровне более низкими значениями полиметаллического индекса в сравнении с аналогичными метасоматитами Якокутского и Ыллымахского массивов, сформировавшимися на надрудном уровне.

Сходные по направленности процессы водородно-калиевого метасоматизма происходили при формировании серицит-микроклиновых метасоматитов в других рассмотренных провинциях калиевых щелочных пород. В Западно-Алданской провинции процессы микроклинизации и серицитизации проявились в позднепалеозойских щелочных породах (псевдолейцитовых сиенитах, пуласкитах) Южно-Сакунского массива. При образовании в раннюю щелочную стадию микроклинизированных псевдолейцитовых сиенитов увеличивается концентрация в породах оксида калия, уменьшается содержание оксида кальция, возрастает общая основность пород. В стадию кислотного выщелачивания среди щелочных сиенитов массива сформировались зоны светлослюдисто-микроклиновых метасоматитов (Костюк и др., 1990). Для серицит-микроклиновых метасоматитов Южно-Сакунского массива свойственны повышенные содержания рубидия, низкие концентрации урана, тория, редких земель. Они также отличаются по изотопному составу кислорода от исходных щелочных сиенитов ($\delta^{18}\text{O} = 4,8-6,9 \text{ ‰}$) более низкими значениями $\delta^{18}\text{O}$ ($-0,6-4,9 \text{ ‰}$) (Покровский, 2000).

В Северо-Прибайкальской провинции светлослюдисто-микроклиновые метасоматиты получили широкое распространение на большей площади Сыннырского щелочного массива. Микроклинизированные и серицитизированные породы (либнеритовые сиениты) местами прослеживаются на значительных площадях (до 0,5-2 км²), часто образуя линейно вытянутые зоны, приуроченные к тектонически ослабленным участкам

(Зак и др., 1968). Эти породы развиваются по всем типам фельдшпатоидных сиенитов (псевдолейцитовых, нефелиновых, кальсилитовых), реже щелочных сиенитов, превращая их в существенно калишпатовые (60-90%) образования с агрегатом мелкозернистого мусковита (10-40%), по химическому составу соответствующего железистому серициту (Костюк и др., 1990). Они характеризуются в сопоставлении с исходными фельдшпатоидными и щелочными сиенитами более низкими значениями изотопного состава кислорода в валовых пробах и состава водорода в биотите и мусковите. По данным Б.Г.Покровского серицит-микроклиновые метасоматиты Сыннырского массива также выделяются более высоким отношением изотопов $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(0,70780)$ в апатите в сравнении с исходными пуласкитами ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,70754$).

В палеозойских щелочных комплексах Уральской провинции (нязепетровском, ильмено-вишневогорском, полевском) постмагматические процессы микроклинизации и серицитизации проявились как в интрузивных, так и в эффузивных породах (Исаков, 1956; Коротеев, 1963; Свяжин и др., 1971; Дворник и др., 2000). Сформировавшиеся в результате этих процессов в нефелиновых сиенитах нязепетровского и ильмено-вишневогорского комплексов микроклинизированные и серицитизированные породы характеризуются в сравнении с эдуктами более высокими концентрациями оксида калия, более низкими содержаниями оксида натрия.

В Северо-Казахстанской щелочной провинции более детально охарактеризован химический и минеральный состав измененных микроклинизированных и серицитизированных пород красномайского и ишимского комплексов (Лебедев-Зиновьев, 1969; Нурлыбаев, 1973). Калиевые полевые шпаты (ортоклаз, микроклин), выделенные из исходных и либнеритовых сиенитов Красномайского массива, различаются между собой по составу, содержанию в них оксидов калия и натрия. В сравнении с эдуктом микроклинизированные и серицитизированные сиениты комплекса выделяются более высокой концентрацией оксида калия и повышенной общей основностью. В Ишимском массиве розовые микроклинизированные и серицитизированные породы слагают более одной трети его площади. Они отчетливо отличаются по химическому составу от исходных пород (псевдолейцитовых порфиров, нефелиновых сиенитов) более высоким содержанием оксида калия, более низкой концентрацией оксида натрия, повышенной основностью.

В Центрально-Казахстанской провинции при проявлении процессов микроклинизации и серицитизации в нефелиновых и щелочных сиенитах Абаевского и Борсуксайского комплексов сформировались обширные зоны ярких розовых либнеритовых сиенитов (Нурлыбаев, 1973). Либнеритовые сиениты Абаевского массива отличаются от исходных нефелиновых сиенитов более высоким содержанием оксида калия, более низкой концентрацией оксидов кальция и натрия. Для состава микроклина из либнеритовых сиенитов борсуксайского комплекса характерно высокое содержание оксида калия,

низкая концентрация оксида натрия в отличие от ортоклаза из исходных нефелиновых сиенитов.

В Армянской провинции процессы постмагматической микроклинизации и серицитизации кайнозойских щелочных пород тежсарского комплекса (лейцитовых фонолитов, нефелиновых и щелочных сиенитов) привели к образованию зон гидротермально-измененных пород (эпилейцитовых порфиров, мусковитизированных сиенитов) (Меликсетян, 1971). Эпилейцитовые порфиры этого комплекса сходны по химическому составу, содержанию в них оксидов калия и натрия с аналогичными породами Полевского массива на Урале. Геохимическая специализация метасоматических пород тежсарского комплекса смешанная литохалькофильная, в них определены повышенные концентрации лития, рубидия, ниобия, тантала, молибдена, меди, свинца.

В Северо-Кордильерской провинции в Канаде при проявлении калиевого метасоматоза в раннюю щелочную и кислотную стадии гидротермального процесса в мезозойских лейкократовых и меланократовых сиенитах штока Аллард образовались розовые калишпатизированные и серицитизированные породы. Они отчетливо отличаются по составу от исходных сиенитов более высокой концентрацией оксидов калия, более низким содержанием оксида натрия, повышенной общей основностью. В заключительную позднещелочную стадию в зоне распространения калишпатизированных и серицитизированных сиенитов образовались метасоматические породы, состоящие в основном из санидина и более редких кварца и кальцита, содержащие прожилково-вкрапленную медную и благороднометальную минерализацию (Werle et al, 1984).

Серицит-микроклиновые метасоматиты (Угрюмов, Дворник, 1985; Дворник, 1986), продуктивные на золотопорфировый тип оруденения, формировались в более щелочных условиях в сравнении с метасоматическими породами типичных молибден-меднопорфировых месторождений и рудопроявлений (Жирекен, Россия; Бингем, США; Кальмакыр, Узбекистан; Колстоун, Австралия и другие), различающихся по геотектонической позиции (Кривцов, 1989). В состав метасоматических пород этих месторождений и рудопроявлений входят биотит-ортоклазовые и серицит-кварцевые метасоматиты, образовавшиеся в раннюю щелочную и кислотную стадии метасоматического процесса. Серицит-микроклиновые метасоматиты калиевых щелочных комплексов Центрально-Алданской провинции (рябиновского, якутского, ыллымахского, томмотского, мрачного), вмещающих золотопорфировое оруденение, характеризуются более высокими содержаниями оксида калия, глинозема, узким диапазоном значений кремнезема, повышенной основностью в сравнении с околорудными биотит-ортоклазовыми, серицит-кварцевыми метасоматитами существенно меднопорфировых (Бингем, Чукикамата, Кальмакыр, Коунрад, Салаватское и др.) и молибденпорфировых (Жирекенское, Сорское, Клаймакс и др.) месторождений и рудопроявлений.

Широко распространенные в калиевых щелочных массивах микроклин-серицитовые метасоматиты резко отличаются по среднему химическому составу от других типов субщелочных, щелочных и кислотных метасоматитов (карбонатитов, скарнов, фенитов, альбититов, пропилитов, эйситов, березитов, листовитов, аргиллизитов, джаспероидов) более высокими содержаниями глинозема и оксида калия, преобладанию в минеральном составе высококалиевых алюмосиликатов (микроклина или серицита) (Дворник, 2014).

Процессы пострудного кварц-эгирин-микроклинового метасоматоза проявились в калиевых щелочных провинциях в пределах рябиновского, ыллымахского и мурунского комплексов. В рябиновском и ыллымахском комплексах Центрально-Алданской провинции метасоматиты эгирин-микроклинового, эгиринового, кварц-гематит-микроклинового и кварц-микроклинового составов, выделенные нами в самостоятельную формацию, образуют многочисленные жилы и прожилки на участках распространения поздних даек и штоков щелочногранитной серии (грорудитов, эгириновых граносиенитов, щелочных гранитов). Они также встречаются в зонах развития фенитов и серицит-микроклиновых метасоматитов. Жильные кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты пересекают наиболее поздние по времени образования породы щелочногранитной серии (грорудиты, эгириновые граниты и граносиениты). В пределах массивов они образуются в результате проявления процессов кремнежелезо-калиевого метасоматизма на завершающем этапе постмагматической гидротермальной деятельности.

Развитие метасоматического процесса на позднем этапе в породах Рябинового массива характеризовалось условиями постепенного нарастания в гидротермальных растворах активности ионов трехвалентного железа и натрия при снижении потенциала калия. В этих условиях в колонке по грорудитам в раннюю щелочную стадию формируются эгирин-микроклиновые метасоматиты и эгириниты. В стадию кислотного выщелачивания эгирин становится неустойчивым и замещается кварц-гематитовым агрегатом. В позднюю щелочную стадию образуются кварц-микроклиновые метасоматиты.

Характерными минералогическими признаками жильных кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов позднего этапа являются присутствие белого, а под микроскопом прозрачного решетчатого микроклина-3, развитие игольчатых кристаллов эгирина. Микроклин-3 характеризуется высокой степенью триклинности. Кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты рябиновского комплекса иногда содержат вкрапленность борнита и более редкого пирита. Для них характерны сидеро-халькофильная геохимическая специализация, повышенные концентрации в сравнении с эдуктом меди, серебра, марганца, ванадия, более низкие значения полиметаллического индекса.

Сходные по характеру и направленности с рассмотренными процессы проходили при формировании жильных кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов по пироксеновым граносиенитам ыллымахского комплекса. В его пределах кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты наибольшее

площадное распространение получили в его юго-восточной части в штоке эгириновых гранитов и граносиенитов и их эруптивных брекчий, где в стадию кислотного выщелачивания сформировались кварцевое ядро и окружающая его широкая зона повышенного окварцевания пород. В породах штока канавами вскрыты жилы, прожилки и гнезда, сложенные пироксен-микроклиновыми, микроклин-кварцевыми метасоматитами, содержащими обильную вкрапленность борнита. Геохимическая специализация кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов Ыллымахского комплекса халькофильная, существенно медно-серебряная с повышенным содержанием свинца.

В мезозойском мурунском щелочном комплексе в Западно-Алданской провинции кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты сформировали линзовидные залежи, жилы и прожилки на участках развития поздних даек и силлов минетт, грорудитов, тингуаит-порфиров (Гадиятов и др., 2000; Костюк и др., 1990). В фенитовой зоне они нередко пересекают и замещают породы дайкового комплекса и являются наиболее поздними по времени образования метасоматическими породами. Эгирин-микроклиновые, эгириновые и кварц-микроклиновые метасоматиты мурунского комплекса по химическому, минеральному составу и кислотно-основным свойствам, выраженным величиной общей основности, близки с аналогичными метасоматитами рябиновского и Ыллымахского комплексов в Центрально-Алданской провинции. В южном экзоконтактовом фенитовом ореоле Маломурунского массива кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты образовали линзовидные и жильные тела, вмещающие чароитовую минерализацию месторождения Сиреневый Камень. Чароититы по времени образования (100-85 млн. лет) значительно моложе фенитов, контролируются локальными разрывными структурами и отличаются повышенной концентрацией циркония, титана, стронция, бария, ниобия (Гадиятов и др., 2000). Чароитовые породы также характеризуются более низкими значениями отношения изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,70745-0,70786$) в сравнении с породами дайкового комплекса ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,70785-0,70799$) (Покровский, 2000). В результате исследований первичных флюидных включений в кварце чароитовых пород на месторождении Сиреневый Камень (Прокофьев и др., 1991) установлены термодинамические условия формирования кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов с чароитовой минерализацией: $T=635-565^{\circ}\text{C}$, $P=400-60$ МПа.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. Распределение золотопорфирового оруденения в серицит-микроклиновых метасоматитах, концентраций золота и серебра в рудных телах, сформировавшихся в калиевых щелочных массивах, подчиняется вертикальной зональности, выраженной на рудном уровне в закономерной смене с глубиной золотополиметаллического типа оруденения на золотомедный тип и развитии на надрудном уровне непромышленной вкрапленной золоторудной минерализации.

Эталонным объектом проявления золотопорфирового типа оруденения в калиевых щелочных вулcano-плутонических комплексах является Рябиновское

рудное поле в Центральном-Алданском районе Южной Якутии. Оно включает Рябиновое и Новое месторождения (рисунок 4), а также несколько рудопроявлений золота (Рябчик, Аналогичное, Желанное). К этому геолого-промышленному типу золотого оруденения в районе также относятся рудопроявления Якокутского, Ыллымахского, Томмотского и Мрачного щелочных массивов.

Золотое оруденение Рябиновского рудного поля преимущественно приурочено по нашим данным к зонам развития метасоматитов поздней щелочной стадии (микроклинитов-2). Рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, борнитом, молибденитом, галенитом, сфалеритом, образующими вкрапленность, мелкие гнезда и тонкие прожилки в мелкозернистом агрегате микроклина-2. Общее содержание сульфидов в руде составляет 10-15%. Самородное золото в порфириновых рудах Рябиновского поля находится согласно (Ким, 1981) и данным автора в сульфидах (пирите, борните, халькопирите), минералах серицит-микроклиновых метасоматитов, а также в сростках с пиритом, ранним и поздним микроклином. В протолочках рудных проб, отобранных на Рябиновом месторождении при проведении геологоразведочных работ, установлены золотины крупностью от 0,01мм до 3мм. Пробность золота из первичных руд изменяется в широких пределах от 430 до 936 ‰ (среднее – 820 ‰, n=12) при наибольшем распространении золотины средней пробы. В протолочках рудных проб выявлены мелкие выделения (0,1-0,25 мм) ртутистого золота состава: Au - 63-78%, Ag – 4-9 %, Hg – 19-26 %.

Промышленное золотое оруденение на месторождении установлено в пяти рудных телах с балансовыми запасами категории C₁ в интервале абсолютных отметок от +600 до +930 м. Среди них наиболее высокими содержаниями золота в подсчетных блоках (1-C₁, 3-C₁, 5-C₁) отличалось рудное тело 1, размещавшееся в пределах линзовидного тела микроклинитизированных и серицитизированных сиенит-пегматитов, падавшего под углами 30–50° на северо-восток. Оно было отработано в 1989–1997 гг. карьером с переработкой руды цианированием. К югу от эксплуатировавшегося рудного тела 1 располагаются рудонасыщенные зоны 4, 5, 6 (блоки 1-C₁, 2-C₁, 3-C₁), локализованные в серицит-микроклиновых метасоматитах по эгириновым сиенитам и сиенит-порфирам в приконтактной зоне их со щелочными пикритами. В северной части Рябиновского месторождения оконтурена рудонасыщенная зона 7 (блок 4-C₁), в пределах которой обогащенные золотом участки приурочены обычно к контактам микроклинитизированных и серицитизированных сиенитов с фенитами, дайками минетт и щелочных пикритов (рисунок 4).

Кроме балансовых руд на месторождении выделено шесть блоков забалансовых руд категории C₂, расположенных в обрамлении штокверковых зон с запасами категории C₁ и отличающихся меньшими значениями коэффициентов рудоносности и средних содержаний золота. В пределах месторождения картировочной скважиной 122 выявлено развитие

непромышленной вкрапленной золоторудной минерализации в микроклинизированных и серицитизированных сиенитах на подрудном уровне до горизонта +150 м.

Золоторудное месторождение Новое размещается в пределах многофазного штока щелочных пород размером 400×600 м, в 1 км на юго-восток от Рябинового месторождения. Возраст пород позднеюрский-раннемеловой. Промышленное золотое оруденение Нового месторождения локализовано в геологических границах штока сульфидизированных псевдолейцитовых сиенит-порфиров (рисунок 4) размером на поверхности 100×140 м, на горизонте 940 метров площадью 132×117 м и в приконтактовых со штоком частях тела эгириновых сиенитов. Золоторудная минерализация на месторождении установлена в интервале абсолютных отметок от +620 до +1050 м. Таким образом, вертикальный размах распространения золотопорфирового оруденения в рябиновском рудном поле составляет 900 м. Прожилково-вкрапленное оруденение Нового месторождения представлено преимущественно пиритом (1-10%), галенитом (1-3%) и более редкими халькопиритом, сфалеритом, молибденитом, борнитом, петцитом, аргентитом. Рудные тела Рябиновского поля характеризуются небольшими размерами: длина их составляет 130-340 м; ширина – 39-117 м; мощность – 26-113 м. По величине показателя вытянутости рудные тела рябиновского поля распределены следующим образом: невытянутые ($B < 2$) – 17 %, слабо вытянутые ($B = 2-5$) – 66 %, вытянутые ($B = 5-10$) – 17 %. В пределах Рябиновского поля наиболее широко распространены золоторудные тела столбообразной формы (66 %), более редки залежи плитообразной (17 %) и штокообразной (17%) форм.

В распределении прожилково-вкрапленной золотой минерализации в серицит-микроклиновых метасоматитах в калиевых щелочных комплексах (рябиновском, якокутском, ыллымахском, томмотском, мрачном) Центрально-Алданской провинции установлены элементы вертикальной зональности. В пределах Рябиновского золоторудного поля проявилась вертикальная зональность, выраженная в максимальном развитии процессов микроклинизации и серицитизации в щелочных сиенитах и сопряженного с ними золотого оруденения на среднерудном уровне (700-800 м). Так, на Рябиновом месторождении, на этом уровне сформировались крупные тела серицитолитов мощностью до 30-40 м среди измененных сиенит-пегматитов, в сравнении с верхнерудным (850-930 м) и нижнерудным (600-700 м) уровнями, в пределах которых образовались небольшие линзы серицитолитов мощностью до нескольких метров среди микроклинизированных и серицитизированных эгириновых сиенитов. Рудная зональность в Рябиновском поле выражается в отчетливой смене с глубиной золото-пирит-галенит-сфалеритовой минеральной ассоциации на золото-пирит-молибденит-халькопирит-борнитовую ассоциацию.

молибдена – на нижнем уровне локализации золотого оруденения и закономерном уменьшении с глубиной значений полиметаллического индекса: $(Pb \times Zn) / (Cu \times Mo)$. Так, для руд Нового месторождения средние значения полиметаллического индекса варьируют от 26 до 5 в интервале абсолютных отметок 1050–800 м, для руд Рябинового месторождения – от 12 до 0,1 в интервале 930-600 м.

В трех рудных телах Рябинового месторождения, развитых на среднерудном уровне, сосредоточено 65 % балансовых запасов золота. Подсчетные блоки запасов золота категории С₁, оконтуренные на среднерудном уровне, отчетливо выделяются по процентному соотношению в них богатых, рядовых и бедных руд, а также по более высоким значениям коэффициентов рудоносности и коэффициентов богатства, в сравнении с залежами верхнего и нижнего уровней рудоотложения (таблица 2). Такая же закономерность в распределении концентраций золота в прожилково-вкрапленных рудах в вертикальном направлении выявлена на Новом месторождении. В рудном штокверке Нового месторождения, как и на Рябиновом месторождении, наибольшее среднее содержание золота в порфириновых рудах и наилучшее их качество, исходя из значений коэффициентов рудоносности и богатства, установлено в подсчетном блоке 13-С₂, оконтуренном на среднерудном уровне (инт. 710-800 м).

Таблица 2

Качественная характеристика руд Рябинового и Нового месторождений

Месторождения	Блоки	Абсолютные отметки, м	Количество проб	Типы руд, %			Коэффициент рудоносности	Коэффициент богатства	Золото-серебряное отношение
				богатые	рядовые	бедные			
Рябиновое	4-С1	850-930	427	3	10	87	0,60	1,16	0,96
	(1,3,5)-С1	700-800	391	6	28	66	0,80	2,93	0,67
	2-С1	700-800	545	5	30	65	0,86	1,88	0,80
Новое	1-С1	600-700	653	4	12	84	0,62	1,24	0,31
	5-С1	940-1050	1788	1	17	82	0,51	1,50	0,33
	6-С1	800-940	718	4	28	68	0,50	1,51	0,24
	13-С2	710-800	218	6	27	67	0,72	1,98	0,29
	С-162	620-710	88	-	14	86	0,61	0,88	-

Распределение концентраций золота в рудных телах Рябиновского поля, судя по значениям коэффициентов их вариации в разведочных выработках, изменяется в широких пределах от равномерного до крайне неравномерного. Наименьшая амплитудная изменчивость содержаний золота характерна для порфириновых руд Рябинового месторождения, сформировавшихся на среднерудном уровне. Степень анизотропии распределения содержаний золота в порфириновых рудах Рябиновского поля, образовавшихся на верхнерудном и среднерудном уровнях, различна. Так, значения коэффициента анизотропии (Ка) в распределении концентраций золота, рассчитанного с использованием

геометро-статистической и геостатистической моделей, на Новом месторождении на верхнерудном уровне (инт. 940-1050 м) составляют 1,09-1,22; на Рябиновом месторождении на верхнерудном уровне (инт. 850-930 м) – $K_a=1,27-1,35$; на среднерудном уровне (инт. 700-800 м) – $K_a=1,40-1,61$. Таким образом, для прожилково-вкрапленных руд Рябиновского поля, сформировавшихся на верхнерудном уровне, свойственен изотропный характер частотной изменчивости содержаний золота в разведочных профилях, а для руд, локализованных на среднерудном уровне, характерна слабо анизотропная частотная изменчивость концентраций золота в разведочных выработках.

Основным попутным компонентом золота в порфировых рудах Рябинового и Нового месторождений является серебро. Для рудных тел Рябинового месторождения установлено закономерное уменьшение средних значений золото-серебряного отношения с увеличением глубины их залегания. Наибольшая концентрация серебра в прожилково-вкрапленных рудах Рябинового месторождения установлена на нижнерудном уровне. Сформировавшиеся на этом уровне порфировые руды выделяются также наибольшей амплитудной и частотной изменчивостью содержаний серебра в разведочных скважинах. Они характеризуются, в сравнении с рудами, образовавшимися на верхнерудном и среднерудном уровнях, весьма неравномерным распределением в них серебра и наименьшими средними значениями как радиусов геометрической автокорреляции, так и радиусов автокорреляции.

Распределение содержаний серебра в прожилково-вкрапленных рудах Нового месторождения неравномерное. Для них также присущ изотропный характер частотной изменчивости концентраций серебра в разведочных выработках (рассечках, штреках, скважинах), пройденных на верхнерудном уровне (инт. 940-1050 м) в разных направлениях (субмеридиональном, субширотном, вертикальном). Значения коэффициента анизотропии в распределении содержаний серебра в порфировых рудах на этом уровне составляют 1,30-1,42. С увеличением глубины залегания прожилково-вкрапленных руд Нового месторождения отмечается, как и на Рябиновом месторождении, возрастание частотной изменчивости концентраций серебра в них.

Содержание меди в рядовых пробах прожилково-вкрапленных руд Рябинового и Нового месторождений обычно составляет сотые доли процента. Наиболее высокие концентрации меди до 4-6% в отдельных пробах установлены в порфировых рудах Рябинового месторождения на нижнем уровне рудоотложения (инт. 600-700 м) в пределах рудного тела 4 (рисунок 4) со средним содержанием меди в разведочных скважинах десятые доли процента. Распределение концентраций меди в разведочных выработках изменяется от неравномерного до крайне неравномерного при преобладании закономерной составляющей изменчивости над случайной составляющей или их равных соотношениях и близком с распределением золота в рудах, характере частотной изменчивости содержаний меди, выраженной величиной радиусов геометрической автокорреляции.

Рассмотренная вертикальная минералого-геохимическая зональность в распределении с глубиной золотопорфирового оруденения в серицит-микроклиновых метасоматитах, концентраций золота и серебра в рудных телах Рябинового и Нового месторождений вероятно обусловлена различием термодинамических условий на разных уровнях рудоотложения. Согласно исследованиям золотопорфировых руд Рябинового месторождения сотрудниками ИГЕМ (Коваленкер и др., 1996; Мызников и др., 2002), включавшим использование кадмиевого галенит-сфалеритового геотермометра, результатов изучения флюидных включений, сульфидная минерализация в рудах выделенных ими преимущественно борнитовой, халькопиритовой и пиритовой зон сформировалась в интервале температур от 560 °С до 160 °С, давление составляло 350- 130 МПа, концентрация солей (масс.% экв NaCl) во флюидах – 25,0-7,6 %. Температуры рудоотложения на этом месторождении были также оценены на среднерудном уровне (700-800 м) по данным декрепитации позднего пирита из прожилково-вкрапленных руд (200-300°С, пик 240-250°С) (Ким, 1981).

В результате изучения состава основных типов флюидных включений (углекислотно-водных, существенно водных и углекислотных) гидротермальных кварцевых жил Рябинового месторождения показано, что формирование его золотопорфирового оруденения происходило при участии растворов сложного сульфатно-хлоридно-углекислотно-водного состава (Наумов и др., 1995; Боровиков и др., 2012), возникших в результате дальнейшей эволюции магматических силикатно-солевых расплавов и рассолов, обособившихся от щелочных магм рябиновского комплекса. Кварц из пирит-кварцевых жил, образовавшихся в зоне рудоносных серицит-микроклиновых метасоматитов, отличается от кварца из барит-полиметаллически-кварцевых жил, ассоциирующих с фенитами, повышенным отношением концентраций ионов калия и натрия в остаточных растворах (Угрюмов, Дворник, 1984). Для их химического состава, полученного при анализе водных вытяжек, характерны также преобладание по концентрации хлора над фтором, высокие содержания CO₂ и присутствие серы в виде сульфат-иона (Коваленкер и др., 1996), что указывает на достаточно окисленное состояние растворов. Образование золотопродуктивных минеральных ассоциаций Рябинового месторождения могло происходить по результатам термодинамического моделирования (Пальянова, 2008) из высокотемпературных высокохлоридных близнейтральных растворов.

Типичные меднопорфировые месторождения также формируются в хлорофильных рудно-магматических системах (Холоднов и др., 2002). Состав газовой-жидких включений в минералах этих месторождений свидетельствует о том, что в их образовании принимали участие флюидные фазы, представленные щелочно-хлоридными рассолами и растворами с содержанием солей (масс.% экв. NaCl) – 10-30% и более, и газообразная фаза, состоящая из смеси H₂O и CO₂ (Кривцов и др., 1986).

Самородное золото, выделенное из окисленных порфировых руд рябиновского типа, характеризуются широкими вариациями состава от электрума до высокопробного золота, при преобладающей доле последнего, а также устойчивой повышенной концентрацией в нем платины и палладия в сравнении с составом золота из окисленных руд других формационных типов золоторудных месторождений Центрально-Алданского района, сопряженных с метасоматитами гумбеитовой, джаспероидной и аргиллизитовой формаций

Изотопный состав серы сульфидов (пирита, халькопирита, галенита), отобранных из прожилково-вкрапленных руд Рябинового месторождения характеризуется, по данным (Загрузина и др., 1983), узким диапазоном значений $\delta^{34}\text{S}$ от $-7,4$ до $-12,8$ ‰ при среднем значении $-10,2$ ‰ по 25 анализам. Более широкие вариации значений $\delta^{34}\text{S}$ (от $+1,8$ до $-12,8$ ‰ при среднем значении $-4,6$ ‰ по 8 анализам) установлены для пирита, образующего рассеянную вкрапленность в серицит-микроклиновых метасоматитах на надрудном уровне за пределами штокверковых зон с кондиционным золотым оруденением. Обогащение сульфидной серы легким изотопом вероятно обусловлено специфическими условиями формирования золотого оруденения Рябинового месторождения, наличием глубинного верхнемантийного щелочнобазальтоидного магматического источника рудообразующих растворов, высокой концентрацией в них сульфат-ионов. Рябиновое месторождение золота, по условиям образования и величине барического показателя закрытости системы: $(P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{газов}}) / P_{\text{H}_2\text{O}} = 16,9 - 9,4$, отнесено (Прокофьев, 2000) совместно с типичными молибден-меднопорфировыми месторождениями к классу полуоткрытых рудообразующих систем. В этот класс входят гидротермальные месторождения золота гипабиссального или субвулканического уровня глубинности (Дарасун, Карийское в Восточном Забайкалье и др.), для которых характерны широкие вариации физико-химических параметров: температуры, давления, концентрации солей и газов в рудообразующих флюидах. Именно в такой обстановке, согласно проведенным исследованиям, сформировались серицит-микроклиновые метасоматиты и прожилково-вкрапленное оруденение Рябинового месторождения золота. Возраст золотопорфирового оруденения Рябинового и Нового месторождений раннемеловой. По глубине формирования месторождения рябиновского типа относятся к среднеглубинным (1,8-4,5 км) гидротермальным золоторудным месторождениям.

В пределах Рябинового месторождения на надрудном уровне (900-950 м) в его северной части в серицит-микроклиновых метасоматитах над рудным телом 7 (рисунок 4) установлено развитие непромышленной вкрапленной сульфидной минерализации, представленной преимущественно пиритом с преобладающими содержаниями золота в керновых пробах – доли граммов на тонну, реже – первые граммы на тонну, и отличающейся от балансовых золотопорфировых руд более низкими средними значениями коэффициентов рудоносности и богатства, золото-серебряного отношения (таблицы 2, 3). В других щелочных комплексах Центрально-Алданского района (Ыллымахском,

томмотском, якокутском, мрачном), отличающихся по геологическому строению от рябиновского комплекса, вмещающего Рябиновое и Новое месторождения золота, меньшим уровнем эрозионного среза и развитием пород вулканогенной кровли (псевдолейцитовых фонолитов, трахитов), при проведении тематических и поисковых работ, включавших проходку горных выработок (канав) и скважин колонкового бурения, отбор штуфных, бороздовых и керновых проб, в развитых в их пределах на надрудном уровне (900-1300 м) микроклинизированных и серицитизированных интрузивных и эффузивных щелочных породах была также выявлена непромышленная вкрапленная сульфидная минерализация. Северное рудопроявление в Ыллымахском массиве, также как и золоторудные проявления Якокутского массива (Лагерное, Щелочное), выделяется более низкими средними значениями коэффициентов рудоносности и богатства, золото-серебряного отношения в сравнении с золотопорфировыми месторождениями рябиновского комплекса (таблицы 2, 3).

Таблица 3

Качественная характеристика вкрапленной золоторудной минерализации на надрудном уровне в серицит-микроклиновых метасоматитах калиевых щелочных массивов Центрально-Алданской провинции

Массив	Месторождение, рудопроявления	Абсолютные отметки, м	Число проб	Типы руд, %			Коэффициент рудоносности	Коэффициент богатства	Золото-серебряное отношение
				богатые	рядовые	бедные			
Рябиновый	Рябиновое	900-950	131	-	2,3	97,7	0,31	0,50	0,27
Якокутский	Лагерное	900-1050	542	0,2	0,6	99,2	0,10	0,15	0,12
	Щелочное	900-1100	613	0,2	0,5	99,3	0,10	0,12	0,10
Ыллымахский	Северное	940-1300	521	-	0,6	99,4	0,14	0,21	0,27

В Западно-Алданской провинции в пределах мезозойского маломурунского массива в измененных сиенитах горными выработками вскрыты минерализованные зоны с золотопорфировым оруденением с содержанием золота – 1-2 г/т, а в обогащенных участках – до 5-7 г/т (Менчинская и др., 2013). В этой провинции золотосодержащая прожилково-вкрапленная минерализация, представленная пиритом, пирротинном, халькопиритом, борнитом, также установлена в серицит-микроклиновых метасоматитах палеозойского Южно-Сакунского массива (Архангельская, 1974).

Рудоносные серицит-микроклиновые метасоматиты Центрально-Алданской щелочной провинции сходны по возрасту и вещественному составу

с калишпатизированными и серицитизированными сиенитами, вмещающими меднопорфировые месторождения с благороднометальной (золото-серебряно-платиновой) минерализацией в мезозойских массивах Северо-Американских Кордильер (Аллард Шток, Коппер Маунтин, Инжербелл, Гэйлор Крик, Шескет Крик, Гус Лейк, Пирамид Лейк) (Mutschler et al, 1985; Werle et al, 1984). В этих массивах измененные породы (лейкократовые и меланократовые сиениты и сиенит-пегматиты) содержат прожилково-вкрапленное оруденение, представленное пиритом, халькопиритом, борнитом и более редкими сфалеритом, галенитом.

Содержания меди в порфировых рудах этих месторождений составляет 0,1- 18 %, золота – 0,05-15,4 г/т, серебра – 1,6-130 г/т, палладия – 0,01-6,41 г/т, платины – 0,02-13,6 г/т, теллура – 0,6-22, 8 г/т. Геохимическая специализация золото-меднопорфировых руд наиболее изученного месторождения Аллард Шток смешанная литохалькофильная, что определяется высокой концентрацией в них меди, серебра, золота, теллура, бария и стронция при низких содержаниях рубидия и урана. Они отличаются от золотопорфировых руд Рябинового и Нового месторождений более низкими значениями золото-серебряного отношения и полиметаллического индекса.

В распределении медной и благороднометальной (золото-серебряной) минерализации в калишпатизированных и серицитизированных сиенитах месторождения Аллард Шток также отмечается определенная вертикальная зональность. Она выражена в преимущественном развитии на среднерудном уровне штокверкового существенно медного золотосодержащего оруденения, представленного пиритом, халькопиритом, борнитом, халькозином и более редкими сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, которое на верхнерудном уровне сменяется жилами, прожилками и гнездами кварц-кальцит-санидинового состава в гидротермально измененных лейкократовых сиенитах со сфалерит-галенит-халькопирит-пиритовой золото-серебряно-полиметаллической минерализацией. Значения золото-серебряного отношения в порфировых рудах месторождения Аллард Шток варьируют в широких пределах от 0,0003 до 0,7; значения полиметаллического индекса - от 0,04 до 5,3.

Меднопорфировые месторождения с благороднометальной минерализацией в щелочных массивах Северо-Кордильерской провинции близки с Рябиновым золотопорфировым месторождением по изотопному составу сульфидной серы и условиям рудоотложения. Так среднее значение $\delta^{34}\text{S}$ для сульфидов из прожилково-вкрапленных руд месторождения Аллард Шток равно -6,5 ‰ при вариациях значений от -4,37 ‰ до -7,9 ‰ (Werle et al, 1984). По данным этих авторов сходные значения $\delta^{34}\text{S}$ установлены для сульфидов из руд других месторождений этой провинции (Коппер Маунтин, Гэйлор Крик, Шескет Крик, Гус Лейк). Образование золото-меднопорфировых руд на этих месторождениях происходило при $T < 300^\circ\text{C}$ и $P = 35-100$ МПа (Mutschler et al, 1985).

ПОЛОЖЕНИЕ 3. Перспективы калиевых щелочных массивов на золотопорфировый тип оруденения оцениваются по комплексу поисковых критериев (магматического, литологического, структурного, геоморфологического) и признаков (коренные выходы и механические ореолы рассеяния рудного вещества; шлиховые ореолы золота в элювио-делювии; аллювиальные россыпи золота; околорудные серицит-микроклиновые метасоматиты; геохимические ореолы золота, серебра, меди; геофизические аномалии).

Комплекс поисковых предпосылок и признаков был разработан автором по результатам проведенных тематических и поисковых работ масштаба 1:10000 по изучению прожилково-вкрапленного золотого оруденения в мезозойских калиевых щелочных массивах (рябиновском, якутском, ыллымахском, томмотском и мрачном комплексах) в Центрально-Алданском районе в Южной Якутии.

Магматический критерий выражен в тесной пространственно-временной связи серицит-микроклиновых метасоматитов и сопряженного золотого оруденения со штоками щелочных сиенитов (пуласкинов, сиенит-порфиров, сиенит-пегматитов) – наиболее поздних дифференциатов щелочносиенитовой серии.

На диаграмме основности магматических пород рябиновского комплекса (рисунок 5) вариационная линия щелочно-сиенитовой серии имеет более пологий наклон в сравнении с линиями типовых щелочно-базальтоидных серий. В целом по наклону вариационной линии она обнаруживает сходство с риолит-андезитовой серией, с которой ассоциируют крупные меднопорфировые месторождения. В этой связи было сделано предположение, что аномальная для щелочно-базальтовых магм эволюция расплавов рябиновского комплекса по риолит-андезитовому типу могла явиться одной из причин появления постмагматических флюидов, обогащенных серой, медью, молибденом, золотом и другими элементами “порфирового” геохимического профиля.

Литологические предпосылки состоят в избирательном метасоматическом замещении и отложении рудных минералов в определенных типах щелочных пород. Среди них наиболее благоприятной средой для проявления метасоматических процессов и отложения золотопорфирового оруденения рябиновского типа явились лейкократовые разновидности щелочных сиенитов преимущественно крупнозернистой структуры. Такие породы в условиях проявления процессов серицитизации и поздней микроклинизации, идущих с рекристаллизацией - уменьшением среднего размера зерен в 2-10 раз, оказываются в энергетическом отношении наименее устойчивыми и значительно легче замещаются мелкозернистыми метасоматитами.

Структурный критерий выражается в выделении в пределах калиевых щелочных массивов структурных элементов, контролирующих размещение серицит-микроклиновых метасоматитов и золотопорфирового оруденения. Важной особенностью структурного контроля прожилково-вкрапленного оруденения в серицит-микроклиновых метасоматитах Рябинового

месторождения является сопряженность его с одной стороны с крутопадающей рудоподводящей зоной региональной трещиноватости (СВ 10-20°), вмещающей пояс поздних даек щелочно-пикрит-бостонитовой серии, а с другой стороны – тесная пространственная связь его с наклонной (30-50°) рудолокализирующей зоной повышенной трещиноватости и дробления северо-западного (290-310°) простирания. Золотое оруденение Рябинового месторождения размещается в субпараллельных зонах поздней микроклинизации. Отчетливая плитообразная форма минерализованных зон, относительная их выдержанность по простиранию и падению, признаки дробления пород, установленные в горных выработках (канавы 1, 5, 9), указывают на связь этих зон с наклонными тектоническими нарушениями.

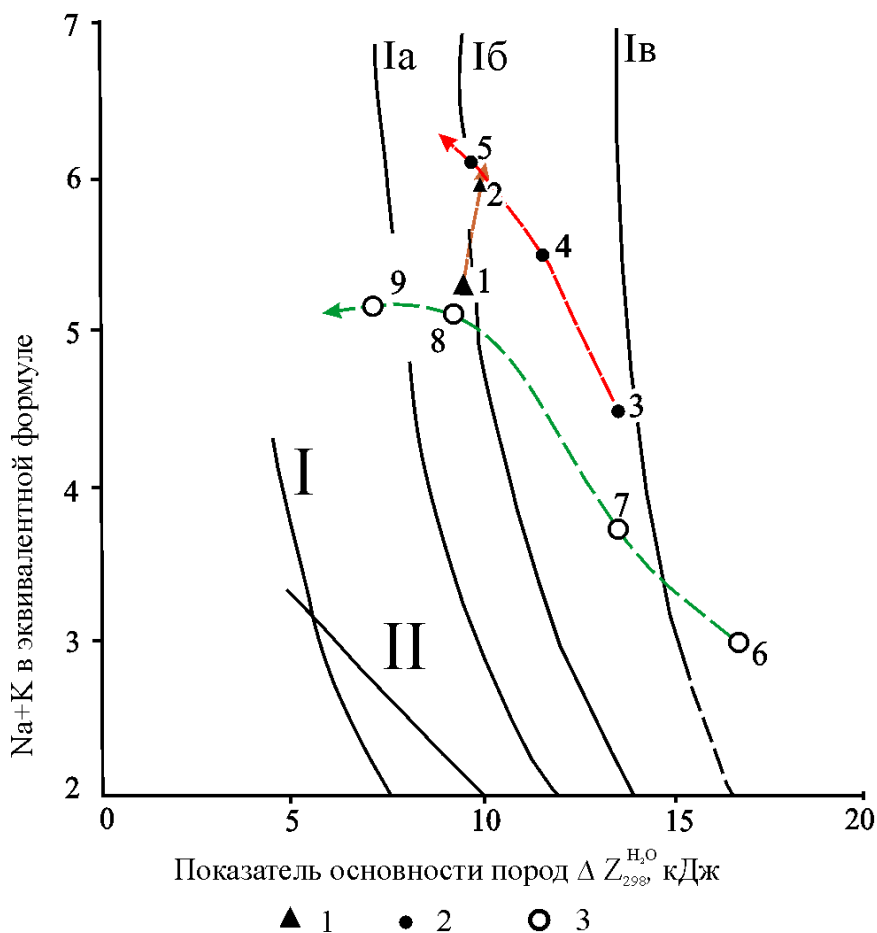


Рисунок 5. – Диаграмма основности главных серий магматических пород рябиновского щелочного комплекса.

1- псевдолейцит-трахитовая серия (1-псевдолейцитовый порфир, 2-трахит);
 2 - щелочносиенитовая серия (3-малиньит, 4-меланократовый сиенит, 5-пуласкит);
 3 - щелочно-пикрит-бостонитовая серия (6-щелочной пикрит, 7-щелочной базальтоид, 8-минетта, 9-бостонит). Стрелки на диаграмме - направление эволюции составов во времени: I, II - вариационные линии типовых серий (Маракушев, 1979): I - толеит-базальтовая; Ia - щелочно-трахитовая; Ib - фонолитовая; Iv - нефелинитовая; II - риолит-андезитовая.

Эти нарушения, представляющие собой рудолокализирующие структуры, являются крупными трещинами (зонами) отрыва. Другим значимым структурным элементом, контролирующим размещение золотопорфирового

оруденения “рябиновского типа” являются контактные поверхности тел щелочных пород, различающихся по кислотно-основным и физико-механическим свойствам. Так, на Рябиновом месторождении отработанное рудное тело 1 размещалось преимущественно в пределах линзовидного тела микроклинизированных и серицитизированных сиенит-пегматитов, контактировавших с измененными эгириновыми сиенитами (рисунок 4). В северной части месторождения в пределах рудонасыщенной зоны 7 обогащенные золотом участки обычно приурочены к контактам микроклинизированных и серицитизированных сиенитов с фенитами и дайкой щелочных пикритов. Расположенные в северной части месторождения рудонасыщенные зоны 4, 5, 6 локализованы в серицит-микроклиновых метасоматитах по эгириновым сиенитам и сиенит-порфирам в приконтактной зоне их со щелочными пикритами. На площади Нового месторождения зоны повышенной золотоносности в пределах рудного штокверка также преимущественно приурочены к приконтактовым участкам микроклинизированных и серицитизированных псевдолейцитовых сиенит-порфиров с эгириновыми сиенитами, шонкинитами.

Геоморфологический критерий позволяет косвенно оценить уровень эрозионного среза рудных штокверков в щелочных массивах по соотношению площадей развития щелочных сиенитов и пород вулканогенной кровли (щелочных трахитов, псевдолейцитовых фонолитов). По данным палеогеоморфологического картирования рассмотренных калиевых щелочных комплексов Центрально-Алданской провинции (рябиновского, якокутского, ыллымахского и др.) распространенность в них эффузивных пород весьма различна (Кравченко и др., 1962; Бородин и др., 1974). Так, в пределах эталонного рябиновского комплекса на площади Рябинового и Нового месторождений, где золотопорфировое оруденение вскрыто эрозионными процессами на среднерудном и верхнерудном уровнях (соответственно 800-930 м и 1000-1050 м), вулканогенных пород не установлено (рисунок 4). Другие калиевые щелочные массивы провинции характеризуются меньшим уровнем эрозионного среза, что выражается в широком площадном развитии в них пород вулканогенной кровли – щелочных трахитов, псевдолейцитовых порфиров и базальтов, суммарная мощность которых составляет от 420 метров в томмотском комплексе до 650 м в Джекондинском массиве.

Прямые поисковые признаки на золотопорфировый тип оруденения в калиевых щелочных массивах включают: 1) коренные выходы и механические ореолы рассеяния рудного вещества, 2) шлиховые ореолы золота в элювиально-делювиальных отложениях над рудными штокверками, 3) аллювиальные россыпи золота (Дворник, 1986, 2001, 2010).

Коренные выходы микроклинизированных и серицитизированных пуласкитов, сиенит-пегматитов, вмещающих золоторудные штокверковые зоны Рябинового месторождения иногда встречались в верховьях ручья Рябинового на его крутых бортах. Обломки рудоносных серицит-микроклиновых метасоматитов образуют механические потоки рассеяния по долинам ручьев и

мелких рек, разносятся от мест их коренного залегания на сотни метров и могут быть использованы при поисках золотопорфирового оруденения в массивах калиевых щелочных пород.

Рудные штокверки в серицит-микроклиновых метасоматитах, сформировавшихся в щелочных комплексах Центрального Алдана, выделяются в элювиально-делювиальных отложениях шлиховыми ореолами золота, являющимися промежуточным звеном в системе: коренной источник – аллювиальная россыпь. Для среднего минерального состава тяжелой фракции шлихов, отобранных в элювиально-делювиальных отложениях из ореола Рябинового месторождения, выделенного на среднерудном уровне над рудным телом 1 (750-800 м) и на верхнерудном уровне над рудной зоной 7 (850-930 м), характерны, как и для состава шлихов из окисленных руд, низкие содержания магнетита и ильменита, более высокие концентрации гематита, оксидов титана (рутила, анатаза), высокие отношения значений Fe_2O_3/Fe_3O_4 , $TiO_2/FeTiO_3$. А для минерального состава шлихов, взятых в элювио-делювии из ореолов над рудопроявлениями Якокутского (участок Лагерный), Ыллымахского (участок Хрустальный), Томмотского (участок Безымянный) и Мрачного массивов, выделенных на надрудном уровне (900-1300 м) свойственны более низкие величины отношений Fe_2O_3/Fe_3O_4 , $TiO_2/FeTiO_3$.

Строение шлихового ореола Рябинового месторождения, установленного в элювиально-делювиальных отложениях на среднерудном и верхнерудном уровнях, идентично. Для него свойственно развитие на этих уровнях зон с высокой концентрацией золота ($> 100 \text{ мг/м}^3$) среди участков умеренной ($50-100 \text{ мг/м}^3$) и низкой ($< 50 \text{ мг/м}^3$) золотоносности, преобладание в его составе золотин изометричной комковидной формы над вытянутыми и сплюснутыми разновидностями (игольчатыми, линзовидными, пластинчатыми), превалирование по гранулометрическому составу тонкого золота, а по химическому составу – среднепробных золотин. Шлиховые ореолы, выделенные в пределах рудопроявлений в щелочных комплексах Центрально-Алданского и Полевского районов (якокутском, ыллымахском, томмотском, полевском) на надрудном уровне сопоставимы с ореолом Рябинового месторождения по крупности выделений самородного золота и их пробности, но отличаются от последнего более низкими средними содержаниями золота в шлиховых ореолах и преобладанием в их составе золотин вытянутой и сплюснутой формы (таблица 4).

Рудные штокверковые зоны в серицит-микроклиновых метасоматитах калиевых щелочных массивов Центрально-Алданского района в Якутии сопровождаются аллювиальными россыпями золота: р. Рябинового в рябиновском комплексе, р. Амбурдак в ыллымахском комплексе, р. Турук в томмотском комплексе. В минеральном составе тяжелой фракции шлихов, взятых из отложений россыпи р. Рябинового, берущего свое начало с золоторудных зон Рябинового месторождения, установлены в весовых и знаковых количествах пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, халькозин, куприт, самородное золото. В отобранных из россыпи шлихах золотины

рудного облика слабой и средней степени окатанности, в них преобладает, как и в шлиховом ореоле в элювиально-делювиальных отложениях Рябинового месторождения золото изометричной комковидной формы, часто отмечаются зерна в виде кристаллов и их сростков. По гранулометрическому составу в изученной выборке превалирует тонкое золото, пробность золотин варьирует в широких пределах – от электрума до высокопробного золота.

Таблица 4

Параметры распределения золота в шлиховых ореолах в элювиально-делювиальных отложениях над рудными штокверковыми зонами в калиевых щелочных комплексах Центрально-Алданского (1-6) и Полевского (7-9) районов.

Параметры		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Морфологические типы золотин, %	комковидные	73	61	35	46	34	35	41	33	35	
	игольчатые	10	17	37	32	37	27	23	33	20	
	линзовидные	13	18	26	20	16	29	32	29	25	
	пластинчатые	4	4	2	2	13	9	4	5	25	
Средние размеры золотин, %	Классы, мм	0,01-0,05	8,3	7,2	20,0	40,0	26,5	26,5	12,2	19,0	10,0
		0,05-0,1	62,8	62,8	56,8	49,2	39,7	53,7	43,4	23,8	20,0
		0,1-0,25	27,2	28,3	21,1	9,7	29,4	16,5	40,0	52,4	65,0
		0,25-1,0	1,7	1,7	2,1	1,1	4,4	3,3	3,3	4,8	5,0
		1,0-2,0	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-
Количество золотин		1311	361	190	610	68	272	90	21	20	
Пробность золота, %		609-917 (820) n=108	640-925 (814) n=31	706-935 (866) n=32	500-993 (814) n=151	780-893 (858) n=11	904-992 (973) n=24	862-962 (907) n=16	831-974 (921) n=5	836-965 (891) n=4	
Площадь шлихового ореола золота, м ²		190000	140000	210000	480000	40000	30000	30000	20000	10000	
Содержание золота в шлиховых пробах, мг/м ³		3-2010 (116) n=141	3-1245 (134) n=53	2-278 (56) n=34	1-1267 (25) n=162	3-295 (66) n=14	2-158 (62) n=7	0,3-207 (59) n=6	0,2-56 (11) n=8	1-21 (10) n=4	

Примечание. 1-2 – Рябиновое месторождение (1-среднерудный уровень, 2-верхнерудный уровень); 3-6- рудопроявления Якокутского (3), Ыллымахского (4), Томмотского (5), Мрачного (6) массивов (надрудный уровень); 7-9 – рудопроявления Надежда (7), г. Липовой (8), г.Глинчевки (9) Полевского массива. В скобках приведено среднее значение параметра; n – количество проб.

Аллювиальные россыпи р. Амбурдак и р. Турук сформировались за счет денудации на надрудном уровне зон с непромышленной вкрапленной золоторудной минерализацией в серицит-микроклиновых метасоматитах

ыллымахского (рудопроявление Северное) и томмотского (рудопроявление Безымянное) комплексов. Для минерального состава тяжелой фракции шлихов, отобранных из этих россыпей, свойственны более низкие концентрации оксидов титана (рутила, брукита, анатаза), меньшие величины отношений $TiO_2/FeTiO_3$, присутствие в знаковых количествах пирита, халькопирита, сфалерита, галенита и самородного золота преимущественно слабой и средней степени окатанности и преобладание по форме вытянутых и сплюснутых индивидов (игольчатых, линзовидных, пластинчатых), а по химическому составу – среднепробных золотин.

Важными косвенными поисковыми признаками золотопорфирового оруденения в калиевых щелочных массивах Центрально-Алданского района являются окolorудные серицит-микроклиновые метасоматиты, геохимические и геофизические аномалии над рудными штокверками (Дворник, 1986, 2001). Поисковое значение серицит-микроклиновых метасоматитов выражается в том, что они содержат в пределах эталонного рябиновского комплекса зоны поздних мелкозернистых микроклинитов среди интенсивно и умеренно микроклинизированных и серицитизированных сиенитов (пуласкинов, сиенит-пегматитов, псевдолейцитовых сиенит-порфиров), вмещающие промышленное прожилково-вкрапленное золотое оруденение Рябинового и Нового месторождений. В других менее эродированных щелочных комплексах (якутском, ыллымахском, томмотском, мрачном) постмагматические процессы микроклинизации и серицитизации проявились менее интенсивно и в них сформировались преимущественно умеренно и слабо микроклинизированные и серицитизированные щелочные породы с небольшими гнездами поздних микроклинитов и непромышленной вкрапленной золоторудной минерализацией.

Первичные геохимические ореолы элементов- индикаторов золотого оруденения (серебра, меди, молибдена, цинка) в пределах Рябинового месторождения были установлены в серицит-микроклиновых метасоматитах, вмещавших золоторудное тело 1, по данным кернового опробования колонковых скважин. Среди них наиболее контрастными являются аномалии меди и молибдена, а аномалии серебра практически повторяют форму рудного тела. Золоторудные тела Рябинового и Нового месторождений также выделяются во вторичных геохимических ореолах в элювиально-делювиальных отложениях над ними повышенными концентрациями золота, серебра, меди, молибдена, свинца и цинка (Астафьев, 1983; Элюев, 1994).

Зоны серицит-микроклиновых метасоматитов, вмещающие золоторудные тела Рябинового и Нового месторождений, выделяются в магнитных и гравитационных полях пониженными значениями ΔT (нТл) и Δg (мГл), а в электрическом поле – повышенными значениями коэффициента сопротивления ($KC > 25000$ Ом·м) (Элюев, 1994), они также фиксируются площадными аномалиями калия от 10 до 13 % и мультипликативного показателя ($F = \frac{U \cdot K}{Th}$) от 5 до 30 %. В других менее эродированных калиевых щелочных массивах

Центрально-Алданской провинции (Якокутском, Ыллымахском) развитые в их пределах на надрудном уровне участки микроклинизированных и серицитизированных щелочных пород (сиенитов, псевдолейцитовых порфиров) также выделяются в геофизических полях гравитационными, магнитными и электрическими аномалиями меньшей интенсивности (Белев, 1991, 1994).

В соответствии с рассмотренным комплексом поисковых критериев и признаков золотопорфирового оруденения в калиевых щелочных массивах Центрально-Алданского района для проведения поисковых работ масштаба 1:10000 на этот тип оруденения предлагается использование следующего комплекса поисковых методов:

- 1) Поисковые маршруты.
- 2) Литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния золота, серебра и элементов-спутников (меди, цинка, свинца, молибдена).
- 3) Шлиховые поиски по ореолам и потокам рассеяния золота в элювиально-делювиальных и аллювиальных отложениях.
- 4) Площадные геофизические работы (магниторазведка, гравиразведка, электроразведка).
- 5) Горнопроходческие работы (канавы, шурфы).
- 6) Буровые работы.

Разработанный автором прогнозно-поисковый комплекс на золотопорфировый тип оруденения в серицит-микроклиновых метасоматитах щелочных массивов, включающий комплекс поисковых критериев и признаков и соответствующие им поисковые методы, предлагается для использования при проведении поисковых работ в других провинциях калиевых щелочных пород (Западно-Алданской, Северо-Прибайкальской, Уральской, Северо-Казахстанской, Центрально-Казахстанской, Армянской), перспективных на этот тип золотого оруденения.

Заключение

Проведенные исследования строения калиевых щелочных массивов, сформировавшихся в рифтогенных условиях, свидетельствуют о широком развитии в их пределах метасоматических процессов. Среди них наиболее распространенными являются процессы железо-калиевого, водородно-калиевого и кремнежелезо-калиевого типов метасоматизма, приведшие к формированию в контактовых зонах щелочных комплексов с вмещающими алюмосиликатными породами дорудных фенитов, а внутри массивов – образованию серицит-микроклиновых метасоматитов, продуктивных на золотопорфировое оруденение, и пострудных кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов.

Метасоматиты фенитовой формации представлены образовавшимися в высокотемпературных условиях (500-800°C) кварц-полевошпатовыми и пироксен-полевошпатовыми породами. Ширина ореолов фенитизации в контактовых зонах щелочных массивов составляет от нескольких метров до нескольких километров. Характерной особенностью процесса фенитизации

является калиевое ощелачивание полевых шпатов исходных пород и развитие эгиринов по кальций-магниевым пироксенам в обстановке повышенной активности ионов калия и трехвалентного железа в гидротермальных щелочных растворах. Химический состав фенитов отчетливо коррелируется с составом замещаемых ими пород. Так, апогранитные фениты выделяются более низкой концентрацией кремнезема в сравнении с эдуктами в отличие от пироксен-полевошпатовых метасоматитов, возникших по породам основного состава.

Для состава фенитов свойственны также преобладание в нем содержания Fe_2O_3 над FeO , обусловленное высоким окислительным потенциалом формировавших их щелочных растворов, смешанная сидеро-халько-фильная геохимическая специализация, высокие значения полиметаллического индекса.

На более позднем этапе в калиевых щелочных породах вулканоплутонических комплексов (сиенитах, псевдолейцитовых порфирах) в условиях переменной активности ионов калия и водорода в гидротермальных флюидах сформировались серицит-микроклиновые метасоматиты. В этой обстановке в раннюю щелочную стадию метасоматического процесса при $T=550-400$ °C и $P=150-100$ МПа произошла псевдоморфная микроклинизация щелочных пород. В стадию кислотного выщелачивания при $T=450-100$ °C и $P=300-50$ МПа в условиях «структурного сжатия» пород возникли микроклин-серицитовые метасоматиты с телами серицитолитов. В позднюю щелочную стадию при $T=300-175$ °C и $P=100-60$ МПа в этих породах образовались зоны поздних микроклинитов, вмещающие золотопорфировое оруденение. В процессе водородно-калиевого метасоматизма закономерно изменяются изотопный состав кислорода, водорода, стронция и основность серицит-микроклиновых метасоматитов, возрастают поверхностная энергия и энергия порообразования.

В зонах развития фенитов и серицит-микроклиновых метасоматитов установлены пострудные кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты, образующие жилы, прожилки и гнезда на участках распространения поздних даек и штоков щелочно-гранитной серии (гнорудитов, эгириновых гранитов и граносиенитов). Метасоматиты эгирин-микроклинового, эгиринового, кварц-гематит-микроклинового и микроклин-кварцевого состава, сформировавшиеся в результате проявления процессов кремнежелезо-калиевого метасоматизма, иногда содержат вкрапленность борнита и характеризуются сидеро-халькофильной геохимической специализацией, повышенным содержанием в них меди, серебра, марганца, ванадия, более низкими в сравнении с эдуктом значениями полиметаллического индекса.

Золотопорфировое оруденение в калиевых щелочных массивах пространственно приурочено к зонам развития поздних микроклинитов среди микроклин-серицитовых метасоматитов. Рудные тела на эталонных месторождениях золота рябиновского типа представлены наклонными и крутопадающими штокверковыми зонами преимущественно столбообразной, реже плитообразной и штокообразной форм. В распределении прожилково-вкрапленного золотого оруденения в рудных телах, концентраций в них золота и серебра установлена вертикальная минералого-геохимическая зональность. В

калиевых щелочных комплексах Центрально-Алданской провинции элементами такой вертикальной рудной зональности являются: 1) закономерная смена с глубиной золото-пирит-галенит-сфалеритовой минеральной ассоциации руд на золото-пирит-молибденит-халькопирит-борнитовую ассоциацию; 2) преимущественная концентрация свинца и цинка в залежах на верхнерудном уровне, а меди и молибдена – на нижнем уровне распространения золотого оруденения; 3) закономерное изменение с увеличением глубины залегания золотопорфировых руд значений их качественных показателей – коэффициентов рудоносности и богатства, золото-серебряного отношения, полиметаллического индекса; 4) наибольшая концентрация золота в подсчетных блоках на среднерудном уровне, а серебра – на нижнерудном уровне; 5) возрастание степени анизотропии в распределении содержаний золота в залежах с глубиной; 6) развитие в порфировых рудах на верхнерудном уровне преимущественно высокопробного золота в ассоциации с пиритом и минералами полиметаллической ассоциации (галенитом, сфалеритом, аргентитом), а на среднерудном уровне – ассоциации преимущественно среднепробного золота с пиритом и минералами меди (халькопиритом, борнитом, халькозином); 7) вариации на рудном и надрудном уровнях изотопного состава сульфидной серы в рудных минералах (пирите, халькопирите, галените); 8) распространение в микроклинизированных и серицитизированных щелочных породах на надрудном и подрудном уровнях непромышленной вкрапленной золоторудной минерализации.

Важным практическим результатом проведенных исследований является разработанный прогнозно-поисковый комплекс на золотопорфировый тип оруденения в калиевых щелочных массивах, включающий поисковые предпосылки (магматические, литологические, структурные и геоморфологические) и признаки (рудные выходы, шлиховые ореолы и россыпи золота, околорудные серицит-микроклиновые метасоматиты, первичные и вторичные геохимические ореолы, геофизические аномалии), использование которого при прогнозировании позволит разделить потенциально рудоносные площади в щелочных комплексах по уровню эрозионного среза и степени их перспективности и локализовать в их пределах участки проведения поисковых работ на золото.

Список основных публикаций по теме диссертации

Монографии

1. Дворник, Г. П. Метасоматизм и золотое оруденение калиевых щелочных массивов (на примере Центрально-Алданской щелочной провинции): научная монография / Г. П. Дворник; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 329 с.

Статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ

2. Угрюмов, А. Н. Щелочные рудоносные метасоматиты Рябинового массива (Алданский щит) / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник // Советская геология. – 1984. – № 9. – С. 84–94.

3. Угрюмов, А. Н. Серицит-микроклиновые метасоматиты Рябинового щелочного массива (Центральный Алдан) / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник // Докл. АН СССР. – 1985. – Т. 280. № 1. – С. 191–193.

4. Дворник, Г. П. Энергетическая характеристика текстурно-структурных преобразований при формировании метасоматитов золото-джаспероидной формации / Г. П. Дворник // Известия ВУЗов. Сер.: Геология и разведка. – 1991. – № 2. – С. 137-140.

5. Дворник, Г. П. Серицит-микроклиновые метасоматиты и золотое оруденение Рябиновского рудного поля (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Литосфера. – 2009. – № 2. – С.56-66.

6. Дворник, Г. П. Элементы вертикальной зональности в распределении золотопорфирового оруденения в вулcano-плутонических комплексах Центрально-Алданского района / Г. П. Дворник // Литосфера. – 2009. – №4. – С. 104-107.

7. Дворник, Г. П. Морфометрическая характеристика золоторудных тел и изменчивость качества руд Рябиновского поля (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2010. – № 2. – С. 36-40.

8. Дворник, Г. П. Ореолы золота в элювиально-делювиальных отложениях над рудными зонами в калиевых щелочных вулcano-плутонических комплексах Центрально-Алданского и Полевского районов / Г. П. Дворник // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 97-104.

9. Дворник, Г. П. Оценка изменчивости содержания золота и серебра в рудах и их качества при разведке и разработке золоторудных месторождений / Г. П. Дворник // Изв. вузов. Горный журнал. – 2011. – № 3. – С. 120-125.

10. Дворник, Г. П. Распределение содержаний золота и серебра в рудных телах Рябинового и Нового месторождений (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Литосфера. – 2011. – № 4. – С. 119-130.

11. Дворник, Г. П. Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района / Г. П. Дворник // Литосфера. – 2012. – № 2. – С. 90-105.

Статьи, материалы конференций

12. Угрюмов, А. Н. Рудоносные водородно-калиевые метасоматиты в мезозойских щелочных массивах Центрального Алдана / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник // Геология и геохимия рудоносных магматических и метасоматических формаций зоны Малого БАМа. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1986. – С. 31-48.
13. Угрюмов, А. Н. Опыт мелкообъемного шлихового опробования делювиальных отложений при поисках золотосодержащих меднопорфировых и золоторудных джаспероидных месторождений / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник, В. С. Балахонов // Геология, поиски и разведка рудных и нерудных полезных ископаемых: Межвуз. науч. темат. сб. – Свердловск, 1988. – С. 44-48.
14. Угрюмов, А. Н. Метасоматическая зональность и золотое оруденение Колтыконского рудного поля (Алданский щит) / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник, В. С. Балахонов // Геология метаморфических комплексов: Межвуз. научн. темат. сб.; отв. редактор Г.А. Кейльман. – Екатеринбург: УГИ, 1991. – С. 67-75.
15. Дворник, Г. П. Серицит-микроклиновые метасоматиты и золото-меднопорфировое оруденение в калиевых щелочных массивах / Г. П. Дворник // Геология метаморфических комплексов. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – С. 108-120.
16. Угрюмов, А. Н. Метасоматическая зональность и золотое оруденение Ыллымахского щелочного массива (Алданский щит) / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник, В. С. Балахонов // Изв. УГГГА. Сер.: Геология и геофизика. – Екатеринбург, 1996. – Вып. 5. – С. 82-87.
17. Дворник, Г. П. Поведение хрома в гидротермальном процессе при образовании серицит-микроклиновых метасоматитов и золото-меднопорфирового оруденения Рябинового месторождения / Г. П. Дворник // Техногенез и экология: Информационно-тематический сборник. – Екатеринбург, 1997. – С. 87-91.
18. Дворник, Г. П. Изучение шлиховых ореолов золота при комплексной оценке золото-меднопорфирового оруденения в калиевых щелочных массивах / Г. П. Дворник // Комплексное использование и эксплуатация месторождений полезных ископаемых: Материалы III Международной конференции. – Новочеркасск, 1997. – С. 59-63.
19. Угрюмов, А. Н. Петрохимическая и хронологическая корреляция эпилейцитовых фонолитов Полевского района Среднего Урала, Северного Казахстана, Северного Прибайкалья, Алданского щита: Новые аспекты минерогенеза этих пород / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала: тез докл. VI Урал. петрогр. сов. Ч.2. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – С. 55–57.
20. Угрюмов, А. Н. Рудоносные кварц-эгирин-полевошпатовые метасоматиты в щелочных гранитоидах Ыллымахского вулканоплутона (Алданский щит) / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник, В. С. Балахонов // Гранитоидные вулканоплутонические ассоциации: петрология, геодинамика, металлогения.

Информационные материалы Всероссийского совещания. – Сыктывкар, 1997. – С. 140-141.

21. Угрюмов, А. Н. Метасоматическая зональность мезозойского полигенного и полихронного Ыллымахского медно-золоторудного узла (Алданский щит) / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник, В. С. Балахонов // Метасоматическая зональность полигенных и полихронных месторождений. Материалы Всероссийской конференции «Метасоматизм и рудообразование». – Екатеринбург, 1997. – С. 73-75.

22. Дворник, Г. П. Исследование зависимости между составом метасоматических пород, их эдуктов и гидротермальных растворов / Г. П. Дворник // Проблемы петрогенезиса и рудообразования. Тезисы докладов научной конференции «Чтения А.Н. Заварицкого». – Екатеринбург, 1998. – С. 48-50.

23. Дворник, Г. П. Систематика метасоматических пород по кислотно-основным свойствам / Г. П. Дворник // Геология метаморфических комплексов: Межвузовский научный тематический сборник. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 1998. – С. 83-94.

24. Угрюмов, А. Н. Позднемезозойские метасоматиты и золотое оруденение Нимгерканского рудного узла (Алданский щит) / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник, В. С. Балахонов // Изв. УГГГА. Вып. 8. Сер. Геология и геофизика. – Екатеринбург, 1998. – С. 99-104.

25. Дворник, Г. П. О характере зависимости по кислотно-основным свойствам метасоматических пород и их эдуктов / Г. П. Дворник // Тезисы докладов Международного Симпозиума «Физико-химические проблемы эндогенных геологических процессов». – Москва. 1999.– С. 46-47.

26. Дворник, Г. П. Поисковые критерии и признаки золотого оруденения в калиевых щелочных массивах и проблема поисков его на Урале / Г. П. Дворник, А. Н. Угрюмов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы европейской территории России и Урала: мат-лы регион. конф. Кн. II. – Екатеринбург: УрО РАН, УГГГА, 2000. – С. 64-65.

27. Угрюмов, А. Н. Минерагения метасоматитов калиевой щелочной серии и некоторые вопросы изучения золотоносности и возможной алмазоносности Полевского рудного района Среднего Урала / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник // Металлогения и геодинамика Урала: Тезисы докладов III Всеуральского Металлогенического совещания. – Екатеринбург, 2000. – С. 167-170.

28. Угрюмов, А. Н. Метасоматические формации и золотая минерализация в рудном районе мезозойской тектоно-магматической активизации / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник // Известия УГГГА. Вып. 10. Сер.: Геология и геофизика. – Екатеринбург, 2000. – С. 119-128.

29. Угрюмов, А. Н. О поисках золоторудных месторождений, сопряженных с аргиллизитами, хрусталеносными и аметистоносными зонами в Центральном-Алданском районе Южной Якутии / А. Н. Угрюмов, Г. П., Дворник, В. С. Балахонов // Пути эффективного использования экономического и промышленного потенциала Южно-Якутского региона в XXI веке (сборник

научных трудов по материалам Республиканской научно-практической конференции). Том II. – Нерюнгри. 2000. – С. 12-16.

30. Дворник, Г. П. Метасоматизм и золотое оруденение в калиевых щелочных массивах, его поисковые критерии и признаки / Г. П. Дворник // Тезисы докладов научно-технической конференции, посвященной 10-летию независимости Республики Узбекистан: «Актуальные проблемы освоения месторождений полезных ископаемых». – Т.: АН РУз, 2001. – С. 51-53.

31. Дворник, Г. П. Геология, разведка и технологические свойства прожилково-вкрапленных руд Рябинового месторождения золота / Г. П. Дворник, В. К. Элюев // Научные основы и прогрессивные технологии переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья благородных металлов (Плаксинские чтения): Тр. Междунар. совещ. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. – С. 128-129.

32. Угрюмов, А. Н. Метасоматическая зональность мезозойского полигенного и полихронного Ыллымахского золоторудного узла (Алданский щит) / А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник, В. С. Балахонов // Известия УГГГА. Серия: Геология и геофизика. Вып. 13. – Екатеринбург, 2001. – С. 153-163.

33. Дворник, Г. П. Серицит-микроклиновые метасоматиты и золоторудная минерализация Мрачного щелочного массива (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья с извлечением благородных металлов. Тр. Междунар. науч.-тех. конф. Ч. I. – Екатеринбург: УГГГА, 2002. – С. 31-38.

34. Дворник, Г. П. Геологическое строение и условия образования серицит-микроклиновых метасоматитов и золото-меднопорфирового оруденения Рябинового месторождения / Г. П. Дворник // Изв. УГГГА. Сер.: Геология и геофизика. Вып. 15. – Екатеринбург, 2002. – С. 104-110.

35. Дворник, Г. П. Геологическое строение, метасоматиты и золотоджаспероидное оруденение Томмотского месторождения / Г. П. Дворник, А. Н. Угрюмов, В. С. Балахонов // Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья с извлечением благородных металлов: Труды Международной научно-технической конференции. Ч.1. – Екатеринбург: УГГГА, 2002. – С. 39-48.

36. Дворник, Г. П. Геологическое строение, метасоматизм и золоторудная минерализация Томмотского щелочного массива и его ближайшего обрамления (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Материалы Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья». – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2003. – С. 501-506.

37. Дворник, Г. П. Метасоматиты и золоторудная минерализация Томмотского щелочного массива и его ближайшего обрамления (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Изв. УГГУ. Вып. 19. Сер.: Геология и геофизика. – Екатеринбург, 2004. – С. 119-127.

38. Дворник, Г. П. Разведка и технологические свойства прожилково-вкрапленных руд Нового месторождения золота (Алданский щит) /

Г. П. Дворник, В. К. Элжоев // Материалы Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья». – Екатеринбург, 2004. – С. 154-158.

39. Дворник, Г. П. Геологическое строение, метасоматиты и особенности разведки прожилково-вкрапленных руд Нового месторождения золота (Алданский щит) / Г. П. Дворник, В. К. Элжоев // Вест. Читинского госуниверситета. № 37. Ч. III. – Чита, 2004. – С. 3-8.

40. Дворник, Г. П. Метасоматиты и золотоджаспероидное оруденение контактовых зон / Г. П. Дворник, В. С. Балахонов, А. Н. Угрюмов // Рудные месторождения: вопросы происхождения и эволюции. Материалы IV Уральского металлогенического совещания. – Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2005. – С. 164-166.

41. Дворник, Г. П. Метасоматиты, морфология и состав самородного золота из окисленных руд основных формационных типов золоторудных месторождений Центрально-Алданского района / Г. П. Дворник, А. Н. Угрюмов, В. С. Балахонов // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд: Материалы научной конференции. – Иркутск, 2005. – Т. 1.– С. 186-188.

42. Дворник, Г. П. Условия образования серицит-микроклиновых метасоматитов и золотопорфирового оруденения Рябиновского рудного поля (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Современные технологии освоения минеральных ресурсов; ред. В. Е. Кисляков. – Красноярск: Изд-во ГУЦМиЗ, 2006. – С. 46-52.

43. Дворник, Г. П. Метасоматические формации и золотое оруденение Центрально-Алданского района / Г. П. Дворник // Эндогенное оруденение в подвижных поясах (XIII Чтения памяти А.Н. Заварицкого) – Екатеринбург, 2007. – С. 122-125.

44. Дворник, Г. П. Метасоматические процессы и золотопорфировое оруденение в калиевых щелочных массивах / Г. П. Дворник // Доклады VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». – Москва, 2007.– Том 5. – С. 71-74.

45. Дворник, Г. П. Минеральные ассоциации, морфология и состав самородного золота из окисленных руд месторождений Нижнеякобитского поля (Алданский щит) / Г. П. Дворник, В. А. Кискин // Южная Якутия – новый этап индустриального развития: Материалы Международной научно-практической конференции. – Нерюнгри, 2007. Ч.1. – С. 127-132.

46. Дворник, Г. П. Морфологические особенности и состав самородного золота из окисленных руд золотоджаспероидных месторождений в контактовых зонах / Г. П. Дворник, В. С. Балахонов, А. Н. Угрюмов // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. материалов 5-й Международной научно-технической конференции (под общ. ред. В.Е. Кислякова). – Красноярск, 2007. – С. 29-35.

47. Дворник, Г. П. Вертикальная рудно-метасоматическая и геохимическая зональность Рябинового месторождения золота / Г. П. Дворник, В. К. Элюев // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды. Мат-лы Всерос. науч. конф. Т. 3. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. – С. 20-22.
48. Дворник, Г. П. Серицит-микроклиновые метасоматиты и золотопорфировое оруденение Нового месторождения (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Вестник Уральского отделения РМО. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. – №5. – С. 15-27.
49. Дворник, Г. П. Распределение содержаний золота, серебра и урана в рудах Лунного месторождения (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: мат-лы Междунар. научно-техн. конф. – Екатеринбург: Форм Диалог-Исеть, 2008. – С. 328-333.
50. Дворник, Г. П. Строение шлиховых ореолов золота в элювиально-делювиальных отложениях над рудными штокверками в калиевых щелочных массивах Центрально-Алданского района / Г. П. Дворник // Система коренной источник россыпь: Материалы конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И. С. Рожкова, Ю. Н. Трушкова, П. И. Мельникова. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2009. – С. 115-119.
51. Дворник, Г. П. Шлиховые ореолы золота в элювиально-делювиальных отложениях как поисковый признак золотопорфирового оруденения в калиевых щелочных вулcano-плутонических комплексах Центрально-Алданского района / Г. П. Дворник // Материалы XIV Международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения». – Новосибирск: Изд-во ООО «Апельсин». 2010. – С. 221-224.
52. Дворник, Г. П. Метасоматические процессы и золотожаспероидное оруденение в карбонатных породах Центрально-Алданского района / Г. П. Дворник // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. Вып. 8. Мат-лы 8-ой Междунар. науч.-техн. конф.; под общ. ред. В.Е. Кислякова. – Красноярск: ИПК СФУ, 2010. – С. 4-11.
53. Дворник, Г. П. Золотоаргиллизитовое оруденение и аметистовая минерализация Нимгерканского рудного узла (Алданский щит) / Г. П. Дворник // Вестник Уральского отделения РМО. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. – №8. – С. 23-28.
54. Дворник, Г. П. Золотопорфировое оруденение в серицит-микроклиновых метасоматитах в калиевых щелочных вулcano-плутонических комплексах / Г. П. Дворник // Золото северного обрамления Пацифика. II Международный горно-геологический форум, посвященный 110-летию со дня рождения Ю.А. Билибина. Тезисы докладов горно-геологической конференции. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2011. – С. 91-93.
55. Дворник, Г. П. Магматизм, метасоматизм и минерогения калиевых щелочных вулcano-плутонических комплексов / Г. П. Дворник // Геология и полезные ископаемые Урала. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2012. – С. 162-181.

- 56.** Дворник, Г. П. Минеральные ассоциации, морфологические особенности и состав самородного золота из окисленных руд Рябинового и Нового месторождений (Алданский щит) / Г. П. Дворник // XVIII Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа – 2012», посвященная благородным металлам (Au, Ag, Pt, Ir, Os, Pd, Rh, Ru). Сборник статей студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей ВУЗов геологического профиля. – Екатеринбург: Изд. ИГГ УрО РАН, 2012. – С. 43-47.
- 57.** Дворник, Г. П. Магматизм, метасоматизм и минерагения калиевых щелочных комплексов Казахстана / Г. П. Дворник // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества, 2012. – № 9. – С. 47-54.
- 58.** Дворник, Г. П. Магматизм, метасоматизм и минерагения калиевых щелочных комплексов Урала / Г. П. Дворник // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст.; Перм. гос. науч. иссл. ун-т. – Пермь, 2012. – Вып. 15. – С. 217-223.
- 59.** Дворник, Г. П. Фениты контактовых зон калиевых щелочных массивов / Г. П. Дворник // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст.; Перм. гос. науч. иссл. ун-т. – Пермь, 2013. – Вып. 16. – С. 152-159.
- 60.** Дворник, Г. П. Магматизм, метасоматизм и минерагения калиевых щелочных массивов Западно-Алданской провинции / Г. П. Дворник // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. тр.; под общ. ред. В. Е. Кислякова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2014 – Вып. 12. – С. 9-16.
- 61.** Дворник, Г. П. Кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты в мезозойских калиевых щелочных массивах Алданского щита / Г. П. Дворник // Ежегодник. – 2013. Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 161. – Екатеринбург, 2014. – С. 187-190.

Тираж 150 экз. Заказ .
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет.

Томск, пр. Ленина, 30.