

На правах рукописи



АНАНЬЕВ Юрий Сергеевич

**ЗОЛОТО-КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ЮЖНОГО
СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ
(НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОЙ КАЛБЫ)**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
доктора геолого-минералогических наук

Томск, 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на кафедре геологии и разведки полезных ископаемых.

Научный консультант: **Коробейников Александр Феопенович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Волков Александр Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН)» г. Москва, заведующий лабораторией геологии рудных месторождений имени академика А.Г. Бетехтина.

Горячев Николай Анатольевич, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБУН «Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ)» г. Магадан, главный научный сотрудник лаборатории петрологии, изотопной геохронологии и рудообразования.

Сазонов Анатолий Максимович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет (СФУ)» г. Красноярск, профессор кафедры геологии, минералогии и петрографии.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

Защита диссертации состоится 6 апреля 2018 года в 14 час 30 мин на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, Томск, просп. Ленина, 30, 20-й корпус ТПУ, ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/914/worklist>

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
К.Г.-М.Н.

Л.В. Жорняк

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Золоторудные объекты в черносланцевых толщах стали известны с середины прошлого века. В настоящее время основной прирост добычи золота в странах СНГ дают именно эти объекты – Кумтор, Мурунтау, Нежданинское, Наталкинское, Олимпиадинское и другие. Представляется вполне вероятным, что и в ближайшем будущем их промышленный потенциал будет определяющим. Исследованием особенностей геологии, геохимии, минералогии, метасоматизма золоторудных месторождений в черносланцевых толщах в разные годы занимались А.А. Абдуллин, П.С. Бернштейн, И.К. Брагин, Н.И. Бородаевский, Н.С. Бортников, В.А. Буряк, А.В. Волков, В.Г. Ворошилов, Г.Н. Гамянин, А.М. Гаврилов, А.Д. Генкин, Н.А. Горячев, С.А. Григоров, В.В. Дистлер, Б.А. Дьячков, П.Ф. Иванкин, А.И. Калинин, Ю.А. Калинин, К.Р. Ковалев, М.М. Константинов, А.Ф. Коробейников, Н.К. Курбанов, И.В. Кучеренко, Л.В. Ли, Л.Г. Марченко, В.В. Масленников, Г.Л. Митрофанов, В.А. Нарсеев, Е.А. Наумов, В.К. Немеров, Ю.И. Новожилов, А.И. Образцов, Н.В. Петровская, В.Ю. Прокофьев, А.Я. Пшеничкин, М.С. Рафаилович, О.В. Русинова, А.М. Сазонов, Ю.Г. Сафонов, А.А. Сидоров, С.Ф. Стружков, С.Д. Шер, Ю.Г. Щербаков, А.И. Ханчук и многие другие. Несмотря на длительную историю их геологического изучения, многие вопросы, касающиеся рудно-метасоматической зональности, генезиса, источников энергии и рудного вещества остаются дискуссионными.

В последние десятилетия в связи с развитием цифровых технологий регистрации и обработки геологической информации актуализирован большой фактический материал по использованию данных мультиспектральных и радарных космических съемок на всех этапах и стадиях геологоразведочных работ. Очевидно, что использование современных возможностей дистанционных методов исследований, должно опираться на геологические, геохимические и рудно-метасоматические модели золоторудных объектов, разработка которых является актуальной задачей.

В зарубежной литературе широко обсуждаются вопросы прогнозирования месторождений полезных ископаемых с использованием материалов дистанционных съемок (Goetz et al., 1983; Abrams et al., 1983; Sultan et al., 1987; Sabins, 1999; Abdelsalam et al., 2000; Ramadan et al., 2001; Kusky and Ramadan, 2002; Rowan et al., 2003; Mars and Rowan, 2006; Di Tommaso and Rubinstein, 2007; Zhang et al., 2007; Moghtaderi et al., 2007; Pour and Hashim, 2011, 2012, 2013, 2014 и др.). При этом основной упор делается на выделение перспективных площадей на основе спектрального анализа многозональных космических снимков. В отечественной литературе такой подход практически не встречается, а преобладают «структурно-тектонические» исследования (Томсон И.Н., Кочнева Н.Т., Кравцов В.С., 1982; Томсон И.Н., Кравцов В.С., Кочнева Н.Т., Середин В.В., Селиверстов В.А., 1984; Янбухтин Т.К., Полуаршинов Г.П., Савельева К.Т., 1985; Ваганов

В.И., Иванкин П.Ф., Кропоткин П.Н. и др., 1985; Гальперов Г.В., Богатырев В.Э., Перцов А.В., 1986; Анищенко А.М. Масленников В.В., 1990; Зейлик Б.С., 1991; Аэрокосмические ..., 2000; Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М., 2001; Печниковская Л.И., 2004; Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., 2004; Журавлев Е.А., 2004; Гальперов Г.В., Журавлев Е.А., Константинов М.М., Аристов В.В., 2006; Журавлев Е.А., 2009; Тронин А.А., Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., 2011; Кирсанов А.А., Петров О.В., Морозов А.Ф., 2014; Серокуров Ю.Н., 2014; Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Тронин А.А., 2014 и др.). Представляется, что целесообразно объединить оба этих методических подхода для повышения эффективности использования материалов космических съемок при выполнении геологоразведочных работ.

Цель диссертационной работы.

Выявление закономерностей формирования и строения золото-концентрирующих систем южного складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты и выработка комплексных прогнозно-поисковых критериев на основе материалов космических съемок и наземных геолого-геохимических исследований.

Задачи исследований.

1. Изучить особенности геологического строения, рудно-метасоматическую, минералого-геохимическую, структурно-морфологическую зональности золоторудных рудных полей и месторождений в складчатом обрамлении Западно-Сибирской плиты.
2. Разработать геологическую модель строения магмо-рудно-метасоматической золото-концентрирующей палеосистемы в черносланцевых толщах Западной Калбы.
3. Определить возможные уровни заложения золото-концентрирующих систем.
4. Адаптировать зарубежный опыт дистанционных исследований для изучения золото-концентрирующих систем.
5. Разработать «дистанционную» модель золото-концентрирующих систем в черносланцевых толщах.
6. Сформировать на основе выявленных закономерностей региональные и локальные прогнозно-поисковые критерии золото-концентрирующих систем.
7. Разработать методику использования материалов современных дистанционных съемок для прогнозирования и поисков золоторудных полей и месторождений.

Фактический материал и методы исследования.

В основу диссертации положены материалы, полученные соискателем в ходе полевых и камеральных работ при выполнении договорных и госбюджетных тем кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Томского политехнического университета. Основная часть фактического материала получена при выполнении хоздоговорных работ с Алтайской геологоразведочной экспедицией треста «АлтайЗолото» (1983-1993 гг.), ОАО

«Казцинк» (2004 – 2007 гг.), ФГУП «Урангео» (2005 – 2009 гг.), ЗАО «РУСБУРМАШ» (2009 – 2014 гг.), ФГУП ЦНИГРИ (2010 – 2012), ООО Богуславец (с 2016 г.), госбюджетных тем РФФИ 05-05-64356 «Закономерности формирования крупных комплексных месторождений редких и благородных металлов Центральной Азии» (2005-2007 гг.) и 10-05-00115 «Исследования закономерностей формирования благороднометалльного оруденения в гидротермальных урановых и редкометалльных месторождениях Центральной Азии» (2010–2012 гг.) и др.

Диссертант с 1985 г лично участвовал в договорных и госбюджетных работах по изучению золоторудных месторождений Алтае-Саянской складчатой области и Западно-Калбинской металлогенической зоны. С разной степенью детальности изучен ряд золоторудных полей (Эспе, Баладжал, Миалы, Джумба, Акжал, Боко-Васильевское, Кызыловское, Синюхинское, Ольховско-Чибижекское и др.). На всех этих объектах выполнялось детальное минералого-геохимическое и метасоматическое картирование по поверхности, керну разведочных скважин и подземным горным выработкам для выявления рудно-метасоматической и минералого-геохимической зональности с целью разработки критериев оценки рудоносных структур на фланги и глубину. Метасоматическое и минералого-геохимическое картирования осуществлялись в масштабах 1:25000 – 1:1000.

Научная новизна

1. Разработана модель золото-концентрирующей магмо-рудно-метасоматической палеосистемы Западной Калбы.
2. Определена ведущая роль метасоматических процессов в рудообразовании.
3. Показано, что признаки золото-концентрирующих систем находят свое отражение в материалах современных мультиспектральных космических съемок.
4. Разработана «дистанционная» модель золоторудных объектов в черносланцевых толщах.
5. Дано теоретическое обоснование мантийному уровню заложения магмо-рудно-метасоматической системы Западной Калбы.

Практическая ценность работы

Разработаны дистанционные, уточнены метасоматические и минералого-геохимические критерии золоторудных полей и месторождений. Предложена ресурсоэффективная методика прогнозирования и поисков золоторудных полей и месторождений. В ходе выполнения хоздоговорных и научных исследований разрабатывались рекомендации по дальнейшему направлению геологоразведочных работ в рудных полях, изложенные в 42 отчетах о НИР. Результаты исследований используются автором в учебном процессе в Томском политехническом университете.

Апробация работы

Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на международных, всесоюзных и всероссийских конференциях: «Минеральная

память» (Тюмень, 1989), «Геология, геохимия, минералогия, металлогения юга Сибири» (Томск, 1990), «Рудоносные метасоматические формации Урала» (Свердловск, 1991), «Золоторудные формации Сибири» (Томск, 1992), «Новые данные о геологии и полезных ископаемых западной части Алтае-Саянской области» (Новокузнецк, 1995), «Проблемы геологии Сибири» (Томск, 1996), «Метасоматическая зональность полигенных и полихронных месторождений» (Екатеринбург, 1997), «Молодежь и проблемы геологии» (Томск, 1997), «Актуальные вопросы геологии и географии Сибири» (Томск, 1998), «Структурный анализ в геологических исследованиях» (Томск, 1999), «Проблемы металлогении юга Западной Сибири» (Томск, 1999), «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2001, 2007), «Состояние и проблемы геологического изучения недр и разведки минерально-сырьевой базы Красноярского края» (Красноярск, 2003), «Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых» (Томск, 2005), «ГЕО-Сибирь-2006» (Новосибирск, 2006), «Топорковские чтения» (Рудный, 2006), «Технико-технологическое обеспечение геологоразведочных работ: проблемы и перспективы» (Москва, 2007), «Золото северного обрамления Пацифика» (Магадан, 2008), «Минерально-сырьевая база Сибири: история становления и перспективы» (Томск, 2008), «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований» (Москва, 2010), «Проблемы освоения техногенного комплекса месторождений золота» (Магадан, 2010), «Россыпи и месторождения кор выветривания» (Новосибирск, 2010), «Большой Алтай - уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии» (Усть-Каменогорск, 2010), «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» (Усть-Каменогорск, 2012), «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2012), «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2013), «Технология геологоразведочных работ» (Алматы, 2013), «Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В.А., Усова М.А., Урванцева Н.Н до наших дней» (Томск, 2013), «Проблемы и перспективы развития геологического кластера: образование-наука-производство» (Алматы, 2014), «Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое сопровождение» (Алматы, 2014), «Новые технологии обработки и использования данных дистанционного зондирования земли в геологоразведочных работах и при ведении мониторинга опасных геологических процессов» (Санкт-Петербург, 2014), «Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии» (Мирный, 2014), «Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири» (Новосибирск, 2015), «Корреляция Алтаид и Уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения» (Новосибирск, 2016), «Инновации и перспективные технологии геологоразведочных работ в Казахстане»

(Алматы, 2017), «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов» (Москва, 2017).

Публикации. Основное содержание выполненных исследований и обсуждение научных положений диссертации опубликованы более чем в 90 работах, в том числе в 5 монографиях, двух учебных пособиях, в 83 статьях и тезисах докладов. 16 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК.

Структура, объём и содержание диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка цитированной литературы. Общий объём составляет 509 страниц текста, 52 таблиц, 233 иллюстраций. В списке цитированной литературы 447 наименований.

Глава 1 посвящена методике проведенных исследований. Приведена информация о фактическом материале диссертационной работы, методиках и объемах аналитических исследований. Рассматриваются вопросы основных приемов обработки, анализа и дешифрирования материалов современных космических съемок.

Глава 2 характеризует основные черты геологического строения и этапы геологического развития Центрально-Азиатского складчатого пояса и золотоносности его геодинамических комплексов.

Глава 3 рассматривает проявления золото-концентрирующих систем в структурах земной коры по данным разномасштабных космических спектрзональных съемок. Приведены данные специальных исследований крупнейших золотоносных регионов как России, так и зарубежных территорий.

Глава 4 посвящена обсуждению закономерностей формирования, размещения и особенностей внутреннего строения и золотоносности составных частей золото-концентрирующих систем складчатых поясов южного складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты. Особый упор делается на рассмотрении геохимических, минералогических и рудно-метасоматических особенностей рудных полей Западно-Калбинской металлогенической зоны.

Глава 5 содержит информацию об условиях и факторах формирования мантийно-коровых и внутрикоровых золото-концентрирующих систем.

В главе 6 рассматриваются региональные и локальные прогнозно-поисковые критерии и признаки, а так же технология прогнозирования и поисков золото-концентрирующих систем складчатых поясов на основе комплексирования структурно-вещественного дешифрирования современных спектрзональных космических снимков и наземных минералого-геохимических работ.

В заключении приведены основные выводы по материалам диссертационной работы.

Положения, выносимые на защиту.

1. Разработана модель строения магмо-рудно-метасоматической зоны-колонны в черносланцевых толщах Западной Калбы, сформированной вследствие эволюции единой магма-рудно-метасоматической системы. В ее строении выделены корневая, нижняя, средняя и верхняя части, различающиеся формами проявления интрузивных тел, формационно-фациальными типами метасоматитов, структурно-морфологическими и минеральными типами руд.

2. Признаки золото-концентрирующих систем на современном уровне эрозионного среза находят свое отражение в материалах современных дистанционных съемок в виде комплекса структурно-вещественных признаков. Структурные признаки (очаговые, кольцевые и линейные структуры) указывают на положение золото-концентрирующих систем, а вещественные свидетельствуют об их зональном внутреннем строении, в котором выделяются: внешняя зона, представленная повышенными значениями индексов оксидов железа; промежуточная, соответствующая пропилитовому минеральному парагенезису и внутренняя, отвечающая лиственит-березитовому профилю изменений.

3. Золото-концентрирующие системы Западной Калбы имеют мантийный уровень заложения. Об этом свидетельствуют: характер размещения золоторудных полей в системах телескопированных кольцевых структур вдоль линеаментов подкорового заложения; мантийный источник вещества продуктивного магматического комплекса; метамагматические изменения; комплексный характер оруденения; наличие в составе руд самородных элементов золота, серебра, платиноидов, углерода; особенности распределения золота в метасоматитах, рудах и вмещающих слабометаморфизованных породах.

4. Вновь разработанные дистанционные, уточненные и дополненные локальные метасоматические и минералогеохимические критерии золотого оруденения положены в основу методики прогнозирования и поисков золото-концентрирующих систем на основе комплексирования структурно-вещественного анализа разномасштабных данных современных космических съёмок и наземных геолого-геохимических исследований.

Достоверность защищаемых положений обусловлена большим числом изученных рудных полей и месторождений золота Алтае-Саянской складчатой области, которые отражают практически весь спектр структурно-морфологического и минералогеохимического разнообразия оруденения, большим количеством нового фактического материала, полученного лично соискателем, а так же заимствованного из многочисленных научно-производственных отчетов, научных публикаций, использованием современных высококачественных аналитических методов исследований, выполненных в аттестованных лабораториях России, а так же современных

лицензионных растровой и векторной геоинформационных систем (Erdas Imagine, ArcGIS).

Благодарности. Искреннюю признательность соискатель выражает научному консультанту, профессору, доктору геолого-минералогических наук А.Ф. Коробейникову за всестороннюю поддержку и содержательные консультации по основным направлениям исследований.

Автор благодарен сотрудникам кафедры геологии и разведки полезных ископаемых за поддержку, помощь и сотрудничество при выполнении исследований, результаты которых легли в основу диссертационной работы.

Особую благодарность автор выражает соисполнителям работ и коллегам профессорам, д.г.-м.н. А.А. Поцелуеву, В.Г. Ворошилову, В.И. Силаеву, А.Б. Байбатше, к.г.-м.н. В.Г. Житкову, А.Я. Пшеничкину, Е.В. Лукьяновой, А.Е. Ермоленко, Т.В. Тимкину, Р.Ю. Гаврилову, П.А. Тишину, В.Н. Назарову, Ю.А. Антонову, Е.В. Черняеву, а так же С.А. Арыштаеву, Ю.Е. Зыкову, Н.Н. Мартыновой, В.Я. Микитченко, Н.Д. Захарову, С.А. Коротких, А.С. Кузнецову, А.К. Рудику, С.А. Трубачеву, И.А. Шевелеву, Н.В. Федюниной, вместе с которыми выполнялись эти исследования.

Соискатель благодарен за консультации, критические замечания и своевременную поддержку профессорам, д.г.-м.н. А.Ф. Коробейникову, Л.П. Рихванову, А.А. Поцелуеву, В.Г. Ворошилову, И.В. Кучеренко, А.К. Мазурову, С.И. Арбузову, Е.Г. Языкову.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Западно-Калбинская металлогеническая зона выделяется в пределах Зайсанской сутурной зоны, расположенной в западном секторе Центрально-Азиатского подвижного пояса, который был сформирован в процессе развития Палеоазиатского океана между Сибирским и Восточно-Европейским кратонами (Зоненшайн, 1972; Зоненшайн и др., 1976; Ковалев, 1978; Моссаковский и др., 1993, Берзин и др., 1994; Диденко и др., 1994; Дистанов, Оболенский, 1994; Добрецов, 2003; Дистанов и др., 2006; Добрецов, Буслов, 2007; Буслов, 2011 и др.).

В настоящее время Зайсанскую сутурную зону рассматривают в составе Алтайской аккреционно-коллизийной системы, возникшей в зоне сочленения Сибирской и Казахстанской литосферных плит с их островодужными активными окраинами при закрытии Чарского палеоокеанического бассейна (Большой Алтай, 1998; Буслов и др., 2003; Владимиров и др., 2003, Дьячков и др., 2005; 2010; Владимиров и др., 2008, Ужкенов и др., 2008). В осевой части зоны установлен Чарско-Горностаевский офиолитовый пояс, который рассматривается (Большой Алтай, 1998; Щерба и др., 2000) как остатки палеоокеанической коры и служит условной границей сочленения этих палеоконтинентов.

В пределах Зайсанской сутурной зоны выделяют Чарско-Зимунайскую и Западно-Калбинскую структурно-формационные подзоны. Их внешними

границами служат глубинные разломы: на северо-востоке по Калба-Нарымскому разлому Западно-Калбинская подзона граничит с Калбо-Нарымским террейном, а на юго-востоке Байгузин-Булакский разлом отделяет Чарско-Зимунайскую подзону от Жарма-Саурского террейна.

Зайсанская сутурная зона сложена разновозрастными структурно-вещественными комплексами, сформированными в различных геодинамических условиях (Большой Алтай, 1998; Щерба и др., 2000; Дьячков и др., 2011).

Ведущим полезным ископаемым Западно-Калбинской металлогенической зоны является золото. Здесь, в основном, проявлены золото-кварцевые и золото-углеродисто-сульфидные месторождения и проявления. Следует отметить, что в последнее время в регионе выявлены золотоносные коры выветривания (Бегаев и др., 1995; Дьячков и др., 2005; Калинин и др., 2009) и джаспероиды (Дьячков, и др., 2008, 2009, 2011; Кузьмина и др., 2013; Кузьмина, 2015; Рафаилович и др., 2015).

Большинство исследователей парагенетически связывают золотое оруденение со становлением кунушского габбро-плагиогранитного интрузивного комплекса.

Вмещающие золотое оруденение породы представлены неспециализированными на золото черносланцевыми толщами карбона, испытавшими начальный региональный метаморфизм в условиях гидрослюдисто-серицит-хлоритовой, эпидот-альбитовой и зеленосланцевой фаций.

ПОЛОЖЕНИЕ 1. Разработана модель строения магмо-рудно-метасоматической зоны-колонны в черносланцевых толщах Западной Калбы, сформированной вследствие эволюции единой магма-рудно-метасоматической системы. В ее строении выделены корневая, нижняя, средняя и верхняя части, различающиеся формами проявления интрузивных тел, формационно-фациальными типами метасоматитов, структурно-морфологическими и минеральными типами руд.

Обосновывается строение магмо-рудно-метасоматической системы Западной Калбы (Рисунок 1).

В строении такой магмо-рудно-метасоматической системы различаются корневая, нижняя, средняя и верхняя части, которые различаются формами проявления магматизма, формационно-фациальными типами метасоматизма, структурно-морфологическими и минеральными типами руд. В рудных полях и месторождениях наблюдаются фрагменты этой сложно построенной системы.

Золотое оруденение сопровождается метасоматитами четырех типов: альбит-амфиболовыми, кварц-полевошпатowymi, пропилитовыми и лиственит-березитовыми.

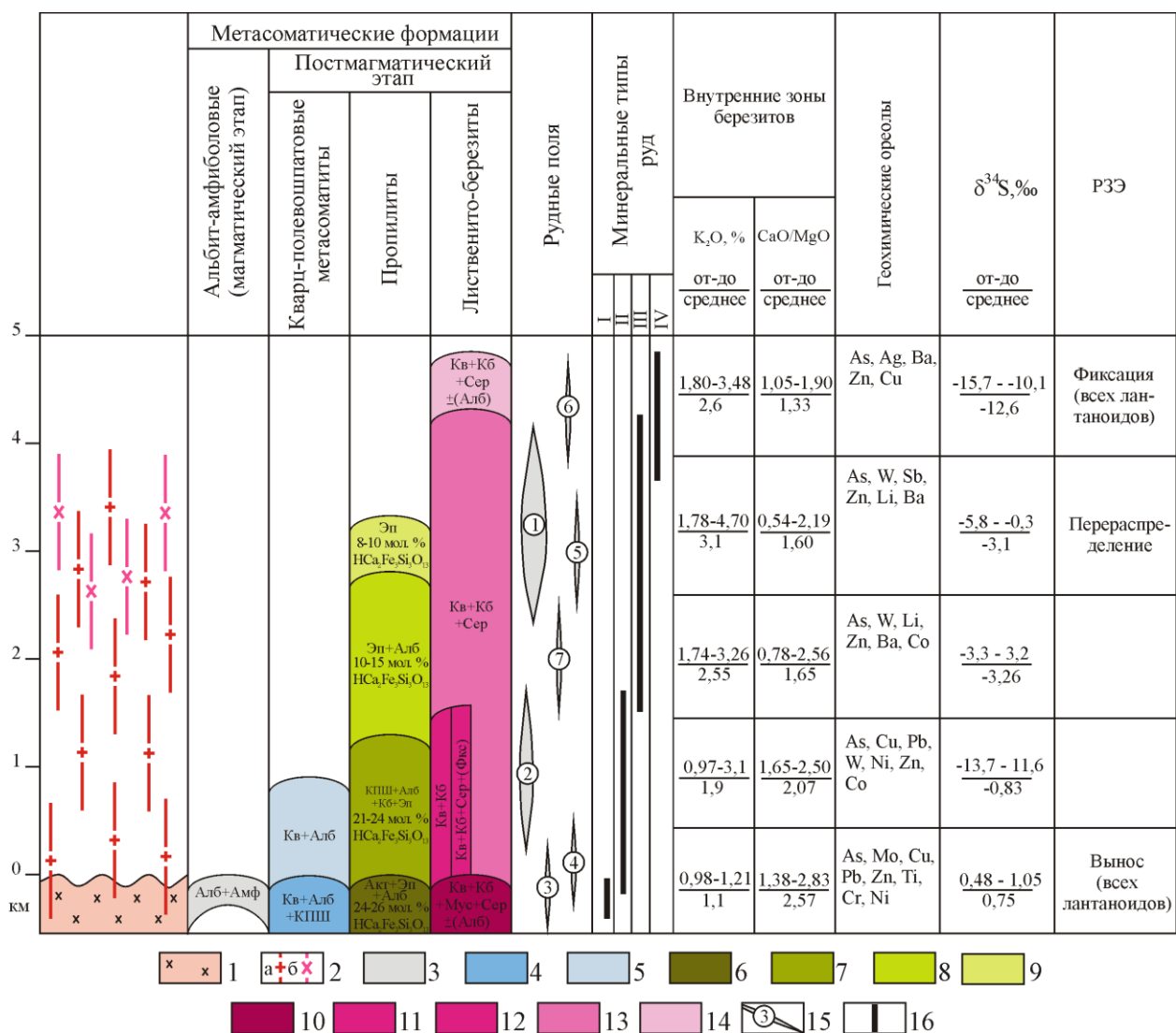


Рисунок – 1. Обобщенная модель магмо-рудно-метасоматической системы Западной Калбы: 1 – штоки габбро-плагитогранитной формации (С₃); 2 – дайки той же формации: а – плагитогранит порфиров; б – микродиоритов, лампрофиров; 3 – альбит-амфиболовые метасоматиты магматического этапа; 4–5 – фации кварц-полевошпатовых постмагматических метасоматитов: 4 – кварц-полевошпатовая; 5 – кварц-альбитовая; 6 – 9 – фации постмагматических пропилитов: 6 – актинолит-эпидот-альбитовая; 7 – полевошпат-кальцит-эпидотовая; 8 – эпидот-альбитовая; 9 – эпидотовая; 10–14 – фации постмагматических лиственито-березитов: 10 – кварц-карбонат-мусковит-серицитовая с альбитом; 11 – кварц-карбонатная; 12 – кварц-карбонатная с фукситом; 13 – кварц-карбонат-серицитовая; 14 – кварц-карбонат-серицитовая с альбитом; 15 – рудные поля: 1 – Бақырчикское, 2 – Боко-Васильевское, 3 – Баладжальское, 4 – Акжалское, 5 – Миалинское, 6 – Эспинское, 7 – Джумбинское; 16 – минеральные типы руд (по А.Ф. Коробейникову, В.В. Масленникову, 1994): I – золото-березитовый, II – золото-кварц-березитовый, III – золото-углеродисто-сульфидный, IV – золото-кварцевый

Альбит-амфиболовые метасоматиты встречены только в рудных полях, где проявлены штоки интрузивных пород кунушского комплекса (Баладжальское, Акжальское рудные поля, рудопроявление Бижан). Их формирование обусловлено воздействием просачивающихся трансмагматических флюидов с вмещающими породами еще в магматический этап. Внешне метасоматиты имеют черты сходства с нормальными магматическими диоритами, но существенно отличаются от последних характером проявления, структурами и акцессорной минерализацией.

Характерной чертой метадiorитов является отсутствие четких магматических контактов с интрузивными и вулканогенно-осадочными породами. Метасоматиты слагают тела неправильной формы, которые тяготеют к приконтактовым частям интрузивных массивов и выходят за их пределы. Судя по реликтам вмещающих пород, метадiorиты развивались как по интрузивным, так и по вмещающим вулканогенно-осадочным породам. В метадiorитах постоянно присутствуют тонкая сыпь ильменита, вторичные хлорит, эпидот и характерный для данных метасоматитов циркон. Вблизи контактов метадiorитов с вулканогенно-осадочными породами карбона наблюдается перекристаллизация метадiorитов с пространственным обособлением лейкократовой (метадiorиты) и меланократовой (метагорнблендиты) частей породы с частичным укрупнением размеров кристаллов амфибола. Верхний возрастной предел образования метадiorитов определяется наличием их ксенолитов в породах эндоконтакта. Обломки метасоматитов не несут следов ороговикования. Наблюдается только отгонка мафической части из зоны реакции. Подобные метасоматические изменения характерны для массивов габбро-диорит-гранодиоритового ряда и трактуются как результат воздействия трансмагматических флюидов с вмещающими породами (Коржинский, 1952; Алабин, 1971; Бектобаев, 1975; Пономарева, 1982; Ворошилов, 1986; Коржинский и др., 1987).

Кварц-полевошпатовые метасоматиты встречены в рудных полях и рудопроявлениях, где проявлены штоки и рои даек кунушского интрузивного комплекса (Баладжальское, Акжальское, Боко-Васильевское рудные поля), где метасоматиты распространены в апикальных участках штоков и эндоконтактах даек. Их формирование связано с воздействием на породы остывающих сквозьмагматических и постмагматических флюидов и характеризует начало регрессивного этапа метасоматического процесса. Метасоматиты образуют жилородные тела незначительной протяженности (до 30 м) и малой мощности (до 3–5 м). Этот аутометасоматический процесс выражается в образовании калий-натриевых полевых шпатов и кварца с проявлением пегматоидных кварц-полевошпатовых образований. Это крупнозернистые породы, розового цвета, массивной текстуры. В метасоматитах получил широкое распространение апатит, количество

которого и коэффициенты удлинения кристаллов закономерно возрастают от внешних зон колонок к внутренним.

Стадия кислотного выщелачивания начинается формированием площадных пропилитов. В зависимости от температурных условий образования, состава вмещающих пород и минералогических особенностей внутренних зон метасоматитов, выделены следующие фации пропилитов: актинолит-эпидот-альбитовая, полевошпат-кальцит-эпидотовая, эпидот-альбитовая с кальцитом, эпидотовая. Наиболее типичные пропилиты полевошпат-кальцит-эпидотовой фации формировались вокруг эпидот-микроклин-кварцевого прожилкования в андезито-базальтах даубайской свиты Боко-Васильевского рудного поля. В прожилках кварц и микроклин слагают центральные части, а эпидот – краевые. Эпидот представлен пистацитом. Признаком проявления пропилитов в песчано-сланцевом субстрате является наличие эпидот-кварцевых и эпидотовых прожилков, сопровождающиеся эпидотизацией боковых пород. О температурных условиях формирования пропилитов можно судить по декрепитационной активности кварца из кварц-эпидотовых прожилков, которая лежит в пределах 420-460 °С.

Лиственито-березиты сопровождают жильные, штокверковые и прожилково-вкрапленные руды, а также образуют самостоятельные жилообразные тела, контролируются зонами повышенной трещиноватости и разрывными нарушениями. Метасоматиты сложены существенно карбонатными породами (листвениты), или серицит-кварц-пиритовым агрегатом (березиты). В зависимости от температурных условий образования, вмещающих пород и состава внутренней зоны нами выделены кварц-карбонатная, кварц-карбонатная с фукситом, кварц-карбонат-мусковит-серицитовая с альбитом, кварц-карбонат-серицитовая с альбитом и кварц-карбонат-серицитовая фации. О температурных условиях формирования метасоматитов можно судить по декрепитационным кривым рудоносных кварцевых жил и прожилков, где отчетливо фиксируются два максимума – 240-280 и 340-360 °С, которые отражают температуры формирования ранней продуктивной золото-пирит-арсенопиритовой и поздней продуктивной золото-полиметаллической минеральной ассоциацией.

Стадия нейтрализации растворов выразилась в формировании многочисленных кварц-кальцитовых и кальцитовых маломощных жил и прожилков без изменения вмещающих боковых пород.

Изучение динамики накопления золота в метасоматитах показало, что ранние альбит-амфиболовые и кварц-полевошпатовые метасоматиты формировались с выносом 20-25 % золота из зон метасоматических преобразований ($K_{\text{H}}^{\text{Au}}=0,75-0,8$). Формирование пропилитов так же сопровождалось общим значительным выносом металла до 50 % ($K_{\text{H}}^{\text{Au}}=0,5-0,9$). Напротив, во всех изученных рудных полях, формирование лиственитов-березитов сопровождалось положительным балансом металла. При этом,

наиболее золотоносными оказывались сульфидизированные разности – $K_n^{Au}=2,0-6,5$ и выше.

В рудных полях и месторождения проявлена рудно-метасоматическая зональность. На различных уровнях развития единой магмо-рудно-метасоматической зоны-колонны зональность проявлена по разному. В строении общей рудоносной зоны-колонны выделяются корневая, нижняя, средняя и верхняя части.

Корневая часть строения единой магмо-рудно-метасоматической системы рассматривается на примере рудного поля Баладжал, которое занимает полосу герцинид, вытянутую вдоль Баладжальского глубинного разлома. Стратифицированные образования представлены породами аркалыкской и калбинской свит карбона. Смятые в линейные складки терригенные породы прорваны небольшими штоками габброидов кунушского комплекса. На территории рудного поля расположено собственно месторождение Баладжал, рудопроявления Поллукс и Скорпион, ряд более мелких проявлений рудной минерализации. Собственно месторождение Баладжал пространственно приурочено к штоку габброидов кунушского интрузивного комплекса. Кварцевые жилы располагаются как внутри штока, так и за его пределами среди ороговикованных пород вмещающей толщи. Залежь вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд локализуется в габброидном массиве гипсометрически ниже жильных тел.

Золотую минерализацию сопровождают альбит-амфиболовые метадiorиты, кварц-полевошпатовые метасоматиты, пропилиты и березиты. Тела метадiorитов неправильной формы тяготеют к приконтактовым частям габброидного штока. Кварц-полевошпатовые автометасоматиты, представленные кварцево-альбитовыми разностями, формировались в апикальных частях интрузивного тела. Пропилиты актинолит-эпидот-альбитовой фации контролируются разрывными нарушениями различных типов и направлений. Березиты (кварц-карбонат-мусковит-серицитовый с альбитом фации) проявляются локально по интрузивным породам, ранним метасоматитам, роговикам, осадочным породам и контролируются трещинами скола и зонами повышенной трещиноватости. В первом случае формировались зоны березитизации, сопровождающие кварцевые жилы, во втором – самостоятельные тела гидротермально измененных пород в теле габброидного штока, в той или иной мере продуктивных на золото. Кварцевые жилы, завершающие во времени рудно-метасоматический процесс, формировались в проницаемых тектонических структурах как габброидного штока, так и за его пределами.

В пределах рудного поля установлены ранняя кварц-золото-пирит-арсенопиритовая и поздняя кварц-золото-полиметаллическая продуктивные минерализации. Продукты отложения ранней стадии встречаются как в прожилково-вкрапленных, так и в кварцево-жильных образованиях. Продукты поздней стадии встречаются только в кварцевых жилах, локализованных в песчано-сланцевой толще.

Самыми распространенными минералами рудных ассоциаций являются пирит и арсенопирит. Соотношение пирита и арсенопирита с глубиной рудно-метасоматических зон меняется с 3:1 в кварцевых жилах до 5–7:1 – в прожилково-вкрапленных и вкрапленных рудах.

Наиболее распространенными морфологическими типами кристаллов пирита рудного поля являются кубические, куб-пентагондодекаэдрические и пентагондодекаэдрические. В кварцево-жильных и прожилково-вкрапленных рудных телах с глубиной отмечается уменьшение доли кубического и появление пентагондодекаэдрического и октаэдрического габитусов кристаллов пирита. Рудогенные пириты характеризуются в основном дырочным типом проводимости с разбросом значений от +10 до +80 мВ. Отмечаются близкие средние значения термо-ЭДС для пиритов из околожильных и апогаббровых березитов (40–45 мВ). С глубиной прожилково-вкрапленных типов руд установлено закономерное уменьшение абсолютных величин значений термо-ЭДС. Пириты рудоносных зон отличаются от пиритов вмещающих пород повышенными концентрациями Au, As, Sb, Pb, Ag, Zn, Cu, Eu, Sr, Sm и пониженными содержаниями Ni, Co, Mn, Zr, Cr, Th, Ta. Изотопный состав серы $\delta^{34}\text{S}$ рудогенного пирита III лежит в пределах от +0,48 до +1,05 ‰, что может свидетельствовать о её глубинном источнике.

Среди кристаллов арсенопирита наибольшее распространение получили короткопризматические и призматические, а так же двойники прорастания. По падению рудно-метасоматической зоны закономерно меняется количество морфологических типов кристаллов и габитус кристаллов арсенопирита: в кварцевых жилах развиты не более трех морфологических типов и преобладают короткопризматические кристаллы, тогда как в прожилково-вкрапленных рудоносных зонах количество морфологических типов кристаллов достигает 6 с преобладанием короткопризматических и удлиненно призматических кристаллов. Намечается закономерное уменьшение содержаний элементов-примесей Cr, Sc от кварцево-жильного типа к прожилково-вкрапленному. Концентрации Ce, Eu, Th, Hf, Sb минимальны в прожилково-вкрапленных рудах, тогда как Sm, La, Lu преимущественно накапливаются в них.

Основная масса видимого золота рудного поля связана с кварцевыми жилами, где оно образует неправильные мелкие выделения в интерстициях зерен кварца, в микротрещинах, на стенках полостей выщелачивания сульфидов. Часто оно образует пылеватые скопления в кварце. Иногда наблюдается обрастание кристаллов пирита золотом. Размеры золотинок кварцевых жил лежат в пределах от сотых долей до 0,5–3,0 мм. Золото прожилково-вкрапленных руд так же образует выделения неправильной формы в интерстициях кварца и сульфидов, в микротрещинах. Часто наблюдается обрастание золотом кристаллов пирита и арсенопирита. Размер золотинок прожилково-вкрапленных руд лежит в пределах от сотых долей до 1 мм. Микрозондовый анализ золотинок из разных жил рудного поля показал

разброс значений пробы от 809 до 942 ‰. При этом золото из кварцевых жил, локализованных в песчано-сланцевой толще, имеет пробу ниже, чем в жилах, локализованных в габброидном штоке.

В рудном поле проявлены геохимические ореолы Ba, Cu, Pb, Zn, Au, As, W, Ni, Co, V, Li, Sr. Морфология аномалий элементов отвечает струйчатой, линзовидной и, редко, линейно-пластовой формам. В северо-восточной части рудного поля, где господствуют малосульфидные кварцевые жилы среди березитов закартированы слабоконтрастные ореолы Cu, Pb, As, Ba, W, Ni редко Zn. Прожилково-вкрапленная пирит-арсенопиритовая продуктивная минерализация на месторождении уверенно отличается от вмещающих пород повышенными концентрациями As, W, Zn, Pb, Li, Sr, Ba. В прожилково-вкрапленном типе минерализации геохимическая зональность ранга рудного тела проявлена следующими ассоциациями: As, W, Au (ядерная зона концентрирования) фиксирует участки развития продуктивной пирит-арсенопиритовой с золотом прожилково-вкрапленной минерализации; Zn, Pb, Li, Sr, Ba (зона транзита) отражает области развития безрудных березитов; Cr, Ni, V (фронтальная зона концентрирования) пространственно совпадает с участками распространения внешних зон березитовой колонки с хлоритом и метасоматическим пиритом.

Изучение распределения редкоземельных элементов показало их общий вынос из зон метасоматоза.

Нижняя часть строения магмо-рудно-метасоматической колонны рассматривается на примере Боко-Васильевского рудного поля, которое расположено в центральной части Сарджальско-Даубайского наложенного прогиба и включает жильное золото-кварцевое, прожилково-вкрапленное и вкрапленное золото-сульфидное оруденение в углеродисто-терригенно-вулканогенных толщах карбона. Рудное поле располагается вдоль Боконского глубинного разлома северо-западного простирания, представленного мощной зоной (до 2,5 км) разрывов и интенсивного расланцевания северо-западного простирания. Клавишно-блоковое строение рудного поля обусловлено развитием поперечных и диагональных разрывов северо-восточного и северо-западного направлений. Рудовмещающие терригенные толщи смяты в складки II порядка с размахом крыльев в 140–200 м. В рудоносной структуре проявлены диагональные и поперечные волнообразные изгибы складчатых структур, ограниченные диагональными дизъюнктивами. По простиранию эта линейная зона разбита разрывами на несколько структурных блоков, смещенных по вертикали относительно друг друга на 100–400 м. Рудовмещающая терригенно-углеродистая толща перекрывается андезито-базальтами и их туфами. В юго-восточной и центральной частях рудной зоны обнажаются тела серпентинизированных гипербазитов, пропилитизированных габброидов, андезитов, гранитоидов повышенной основности среди ороговикованных терригенных толщ.

В рудном поле обособились три основных рудоносных блока – Юго-Восточный, Промежуточный и Северо-Западный. В юго-восточном блоке

размещены жильно-штокверковые золото-кварцево-сульфидные руды в зонах кварц-карбонатных фаций лиственитов-березитов на верхних горизонтах и штокверковые золото-сульфидные в апосерпентинитовых лиственитах – на нижних горизонтах (месторождения Акдынбек, Старое Боко, Боко, Колорадо). В промежуточном и северо-западном блоках распространены вкрапленные и прожилково-вкрапленные золото-пирит-арсенопиритовые рудные тела с подчиненным количеством кварцево-жильных и штокверковых проявлений в пропилитах и кварц-карбонатных с фукситом лиственитах среди углеродистых пород молассовой формации (месторождение Васильевское, рудопроявления Карьерное и Озерное).

Самыми распространенными рудными минералами рудного поля являются пирит и арсенопирит. Соотношения пирита и арсенопирита закономерно меняется с 2:1 на уровне кварцевых жил до 7:1 на уровне вкрапленных руд.

Характерной особенностью рудогенного пирита из кварцевых жил является преобладание кристаллов с одновременно развитыми гранями гексаэдра (100) и пентагондодекаэдра (210). С глубиной для кварцево-жильного типа намечается увеличение доли кристаллов пентагондодекаэдрического и уменьшение кубического габитусов. Для пиритов штокверкового типа оруденения характерен кубический габитус кристаллов. При этом с глубиной намечается некоторое снижение количества кубических кристаллов в пользу пентагондодекаэдрических и увеличение общего ассортимента морфологических типов. Для пиритов прожилково-вкрапленного и вкрапленного типа оруденения свойственны кубический и пентагондодекаэдрический габитусы. С глубиной намечаются увеличение общего ассортимента кристаллов и кристаллов кубического габитуса, уменьшение доли грани (210) и пентагондодекаэдрического габитуса. В рудных пиритах отмечается увеличение концентраций As, Sb, Pb, Ag, Zn и снижение Co и Ni по мере увеличения степени березитизации. Изучение термо-ЭДС пиритов из различных морфологических типов руд показало, что пириты из кварцевых жил и штокверков характеризуются смешанным типом проводимости, а кристаллы прожилково-вкрапленных руд – только дырочным.

Арсенопирит из кварцевых жил встречается в виде зернистых масс, короткопризматических кристаллов или их сростков. Редко встречаются удлиненнопризматические кристаллы. Размеры кристаллов такого арсенопирита достигают 1–2 мм и более. Для вкрапленного, прожилково-вкрапленного и штокверкового типа оруденения характерны короткопризматические, удлиненные и игольчатые кристаллы, двойники и тройники. Кристаллы представлены хорошо развитыми гранями ромбических призм первого рода или ромбических пирамид. Грани пинакоида, ромбических призм второго рода развиты слабо. Размер кристаллов варьирует в значительных пределах, но не превышает 0,2 мм.

В рудном поле закономерно меняется изотопный состав серы рудогенного пирита (Коробейников и др., 1990). Так, для блока вмещающего кварцево-жильное и штокверковое оруденение значение $\delta^{34}\text{S}$ лежит в пределах от +2,02 до +11,59 ‰, блок с прожилково-вкрапленным оруденением характеризуется величиной $\delta^{34}\text{S}$ от -2,83 до +0,80 ‰, а блок с вкрапленным типом руд – $\delta^{34}\text{S}$ от -6,04 до -13,74 ‰.

В рудном поле видимое золото встречается только в кварцевых жилах. Размер золотин лежит в пределах от долей до 1,5–2,0 мм. Выделения самородного золота приурочены к тонким трещинам, интерстициям в кварце и сульфидах. Проба золота лежит в пределах от 845 до 872 ‰. Для прожилково-вкрапленного и вкрапленного типа минерализации характерно очень мелкое (1–10 мкм) золото. Оно представлено одиночными или групповыми вкраплениями преимущественно в пирите и арсенопирите и приурочено к краевым частям кристаллов, микротрещинам, интерстициям.

Строение средней части магмо-рудно-метасоматической зоны-колонны рассматривается на примере Миалинского и Бакырчикского рудных полей.

Миалинское рудное поле расположено в Бакырчикском рудном районе. Оно представляет собой блок пород размером 5х7 км, вытянутом в широтном направлении вдоль регионального Миалинского разлома. Территория рудного поля сложена образованиями морской молассоидной формации C_1 . Стратифицированные каменноугольные образования прорваны единичными дайками кислого и среднего составов кунушского комплекса. Пликативные структуры рудного поля представлены линейными складками с субпараллельной ориентировкой осей северо-западного простирания. Дизъюнктивная тектоника, северо-западного и субширотного простирания, контролирует размещение даек, большинства рудоносных зон и рудных тел. Геофизическими методами в юго-восточной части рудного поля на глубинах 1,5–3 км фиксируется гранитоидный массив повышенной основности. В пределах рудного поля известно более 50 рудоносных зон, наиболее продуктивные из них (Зоны 20, 30, 22) располагаются в западной части рудного поля.

Пропилиты рудного поля представлены двумя фациями – альбит-эпидотовой и эпидотовой. При этом метасоматиты альбит-эпидотовой фации фиксируют нижнюю часть гидротермально-метасоматической колонны, а эпидотовая фация – среднюю. Березиты кварц-карбонат-серицитовый фации контролируются трещинами скола и зонами повышенной трещиноватости. В нижней части гидротермально-метасоматической колонны в березитах установлен призматический апатит, в центральной – турмалин. В рудном поле закономерно меняется мощность кварцевых жил и прожилков в различных частях гидротермально-метасоматической колонны: в нижней части их мощность обычно не превышает первых сантиметров, тогда как в верхних – достигают первых метров. Основной продуктивной ассоциацией рудного поля является кварц-золото-пирит-арсенопиритовая, которая проявлена на всех уровнях гидротермально-метасоматической колонны.

Кроме нее в нижней части колонны выявлена кварц-карбонат-шеелитовая (Зона 22), а в верхней – кварц-золото-полиметаллическая (Зона 20).

Максимальные концентрации пирита установлены в кварцевых жилах (до 5 кг/т в жилах Зоны 25), где он тяготеет к призальбандовым частям. Его кристалломорфологический анализ показал, что на кристаллах присутствуют четыре простые формы: куб, пентагондодекаэдр, октаэдр, дидодекаэдр. При этом самыми распространенными и габитусными являются грани куба и пентагондодекаэдра. По падению рудных тел в березитах снижается доля пентагондодекаэдрических кристаллов и увеличивается доля кубических. Рудогенные пириты кварцевых жил и прожилков характеризуются только дырочным типом проводимости. С глубиной прожилково-вкрапленного типа руд (Зона 22) намечается незначительное уменьшение абсолютных значений величины термо-ЭДС отдельных кристаллов. Установлено, что пириты рудоносных зон отличаются от пиритов околорудных березитизированных пород повышенными концентрациями Au, As, Sb, Ag, Zn, W, Ti и пониженными содержаниями Cu, Pb, Co, Ni, Mn. Значение мультипликативного коэффициента $(Cu \cdot Zn)/(Co \cdot Ni)$ для рудогенных пиритов закономерно меняется с 0,3 (Зона 22) до 16 (Зона 20) по восстанию рудно-метасоматической колонны.

Арсенопирит встречается в кварцевых жилах, прожилково-вкрапленных рудах, околорудных березитах во внутренних частях метасоматических колонок. Концентрация его в пробах протолочках изменяется от долей до 78 г/т (кварц Зоны 22). Намечается некоторое увеличение количества арсенопирита с глубиной прожилково-вкрапленных руд. В рудах преобладают призматические кристаллы с различным коэффициентом удлинения. В качестве примесей в арсенопирите постоянно присутствуют Cu, Pb, Zn, Sb, Ba, Au, Mo, V, Ni, Co. Наибольшие концентрации наблюдаются у сурьмы и золота. При этом содержания золота в минерале достигают 100–200 г/т.

Основная масса видимого золота рудного поля связана с кварцевыми жилами и прожилками (Зоны 31, 20). Размер таких золотинок меняется от 0,01 до 0,75 мм, реже 1–3 мм. При этом чаще встречаются золотины размером 0,1–0,25 мм. В прожилково-вкрапленных рудах оно находится в связанном субмикроскопическом состоянии в пирите и арсенопирите. Проба золота лежит в пределах 840–920 ‰.

Геохимическая зональность ранга месторождения образована тремя ассоциациями – As-Ag-Au-(W) (ядерная зона концентрирования), Li-Sr-Sn (зона транзита) и Mo-Co-Ni-(Sb) (фронтальная зона концентрирования), а зональность ранга рудного тела – As-Ag-Au-W (ядерная зона концентрирования), Li-Sr-Zr-Ba-Be (зона транзита), Cu-Co-Ni-Mo-V (фронтальная зона концентрирования).

Бакырчикское рудное поле приурочено к широтной Кызыловской зоне смятия и надвигов. Основная рудолокализирующая структура, по сейсмическим

данным, прослеживается по падению на 5–5,5 км до глубины 3 км (Глубинное строение..., 2002).

Метасоматическая модель рудного поля разработана Рафаиловичем и др. (2011). Здесь, углеродисто-каолинит-гидрослюдистые метасоматиты проявились на верхних горизонтах, углеродисто-серицитолитовые преобразования распространены по всему разрезу, однако максимально проявлены в центральной части, серицит-флогопит-карбонатная с апатитом и турмалином метасоматическая ассоциация занимает нижние уровни. При этом отмечается уменьшение интенсивности окварцевания пород с запада на восток. В этом же направлении отмечается увеличение с глубиной доли магнезиально-железистых карбонатов в рудах и возрастает относительная доля свободного золота. С глубин 800 м и более появляются руды существенно карбонатного (без углеродистые) типа со свободным золотом. Такие существенно карбонатные руды описаны в регионе на Суздальском золоторудном месторождении (Бегаев и др., 1995; Нарсеев, 2002; Ковалев и др., 2012). В надрудной и верхнерудной зонах развиты альбитовые и альбит-хлоритовые изменения вмещающих черносланцевых терригенных пород.

Рудные парагенетические ассоциации занимают определенное положение в разрезе и находят отражение в геохимической зональности: золото-пирит-арсенопиритовая имеет «транзитное» развитие, ранняя мельниковит-пирит-пирротин-марказитовая и золото-кварц-карбонат-шеелит-халькопиритовая фиксируются на нижних горизонтах, а золото-кварц-полиметаллическая и поздняя кварц-карбонат-антимонит-блеклорудная тяготеют к средним и верхним горизонтам.

По данным М.М. Старовой и др. (1982ф), И.З. Исакович и др. (1988), В.Б. Чекваидзе и др. (2002), М.С. Рафаиловича и др. (2011) в стволовой зоне Бакырчикского месторождения преобладают кристаллы пирита пентагондодекаэдрического, куб-пентагондодекаэдрического и куб-октаэдрического габитусов, тогда как во фронтальной и тыловой зонах наибольшим распространением пользуются кристаллы кубического габитуса.

Термоэлектрические свойства рудогенного пирита, на уровне современного эрозионного среза, закономерно меняется с запада на восток: в западной части преобладают пириты с дырочной проводимостью, в восточной – электронно-дырочный.

Для арсенопирита характерны игольчатые, призматические, короткопризматические и пикообразные кристаллы, их двойники и тройники прорастания. С запада на восток рудного поля намечается смена призматических и короткопризматических кристаллов на игольчатые и пикообразные.

Изотопный состав серы рудогенного пирита III и арсенопирита $\delta^{34}\text{S}$ лежит в пределах от -5,8 до -0,3 ‰ (Заири Н.М., Яновский В.М., 1979ф; Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Наумов Е.А. и др., 2011). При этом фиксируется утяжеление изотопного состава серы пирита и арсенопирита с глубиной рудных тел месторождения Бакырчик.

Золото в рудах субмикроскопическое и связано с сульфидами, имеет комковидную, дендритовидную, амебообразную, пленочную формы. Размер золотинок не превышает 6–8 мкм. Чаще встречаются выделения самородного золота в микропрожилках и микротрещинах в пирите и арсенопирите. Проба такого тонкого золота лежат в пределах от 684 до 925 ‰.

Кроме самородного золота, в пирите и арсенопирите установлены следующие рудные минеральные микрофазы: галенит, сфалерит, тетраэдрит, халькостибит, антимонит, касситерит, вольфрамит, ксенотим, монацит, самородные серебро. Впервые выявлен настуран (Ананьев, Бабкин, Поцелуев, 2012). Л.Г. Марченко (2010) установлены минеральные формы платины и палладия – наноминералы куперит платиновый (PtS_2), куперит палладиевый (PdS_2), сперрилит (PtAs_2), палладоарсенид (PdAs_2), самородная платина (Pt), поликсен (Pt(Fe)), платарсит (Pt(AsS)_2), эрлихманит OsS_2 и др.

Для золоторудных месторождений Кызыловской зоны смятия свойственны контрастные (As , Sb , W), малоконтрастные (Mo , Cu , Pb , Ag , Co) и слабоконтрастные (Sn , Bi , Ni , V) геохимические ореолы (Рафаилович, 2009). При этом широко распространены следующие элементные ассоциации: «сквозная рудная» Au-As (отвечает золото-пирит-арсенопиритовой минеральной ассоциации), верхнерудно-надрудная Au-Sb-As (соответствует кварц-карботнат-антимонит-блеклорудной минеральной ассоциации), среднерудная Cu-Pb-Zn (отвечает полиметаллически-блеклорудной минеральной ассоциации), нижнерудная W-Cu-Mo (соответствует халькопирит-шеелитовой минеральной ассоциации) и средне-нижнерудная As-Ni-Co (отвечает ранней пирит-пирротин-марказитовой минеральной ассоциации).

Изучение распределения редкоземельных элементов показало их перераспределение в вертикальном разрезе.

Строение **верхней части** магмо-рудно-метасоматической колонны рассматривается на примере рудного поля Эспе, которое размещается в наложенной грабен-синклинали в северо-восточном борту Чарско-Горностаевского офиолитового пояса. Рудовмещающие толщи представлены терригенными породами морской молассоидной (C_1) и прибрежно-морской молассовой формациями (C_2). В рудном поле выделяются западный и восточный блоки с различными структурно-морфологическими типами руд. В западной части рудного поля расположена крупная брахиформная синклинали складка с северо-западным простиранием крыльев, осложненными флексурными изгибами и продольными и поперечными разрывами. В восточной части рудного поля развиты линейные складки с северо-западным простираением осей. Интрузивные образования представлены единичными мелкими штоками плагиогранитов и многочисленными дайками плагиогранит-порфиров, микродиоритов, спессартитов, керсантитов кунушского комплекса в восточной части, а также пострудными раннетриасовыми дайками долеритов в западной части рудного поля.

В восточном блоке в зонах разрывных нарушений, оперяющих Западно-Калбинский разлом, проявлена золото-пирит-арсенопиритовая продуктивная ассоциация (месторождение Северное Костобе, рудопрооявления Центральное и Южное Костобе). Она формирует прожилково-вкрапленные руды со связанным микроскопическим золотом, сопровождаемые редкими маломощными стержневыми кварцевыми жилами в зонах кварц-карбонат-серицитовых фаций березитов, во внешних зонах которых проявлены эпидот-альбитовые с кальцитом пропилиты. В западном блоке в разрывных нарушениях получило распространение кварцево-жильное оруденение с золото-пирит-арсенопиритовой и золото-полиметаллической ассоциациями со свободным золотом в кварцевых жилах, свитах кварцевых жил и линейных штокверках, сопровождаемых березитами кварц-карбонат-серицитовой с альбитом фации. Отдельные кварцевые жилы выдержаны как по простиранию, так и по падению. С глубиной наблюдается «расхвостование» одиночных жил и их переход в линейные штокверки.

В западном блоке на современном уровне эрозионного среза отчетливо проявлена минералогическая зональность, обусловленная различным пространственным размещением продуктивных минеральных ассоциаций. В меридиональной структуре эта зональность представляется следующим образом: Южный блок (жилы Белая, Пологая, Ненадежная, Особая) – кварц, пирит, арсенопирит ($\pm$ магнетит), сульфидов не более 2 %, средняя проба золота – 820 ‰; Центральный блок (жилы Короткая, Южная, Сестра) – кварц, пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит ($\pm$ халькопирит), сульфидов не более 2%, средняя проба самородного золота – 835 ‰; северный блок (жилы Северная, Аммональная, Интересная) – кварц, пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, блеклая руда ($\pm$ галенит), сульфидов не более 2%, средняя проба самородного золота – 864 ‰.

Наиболее распространенный минерал сульфидов руд – пирит. Для прожилково-вкрапленного типа руд восточной части рудного поля характерно преобладание кубических кристаллов. В зонах метасоматической проработки, окварцевания и минерализации в комбинациях появляются грани пентагондодекаэдра, редко октаэдра и дидодекаэдра. Кристаллы пентагондодекаэдрического габитуса появляются только в участках повышенной золотоносности. В жильном типе руд так же преобладают кубические кристаллы. С глубиной кварцево-жильного типа оруденения намечается увеличение доли кубических кристаллов пирита в жилах и ее уменьшение в околожильных березитах. Кристаллы куб-пентагондодекаэдрического и пентагондодекаэдрического габитусов проявляют обратные тенденции. Для пиритов прожилково-вкрапленного типа оруденения наблюдается снижение средних содержаний Pb, Ag и увеличение концентраций Zn, Co, Cr, Au с глубиной рудно-метасоматических зон. Для пирита кварцевых жил установлено увеличение концентраций Cu, Pb, Co, отчасти As и снижение Sb с глубиной. Изотопный состав серы $\delta^{34}\text{S}$ рудного пирита прожилково-вкрапленного типа руд характеризуется

величинами 0,43–0,76 ‰, тогда как для кварцево-жильного этот показатель лежит в пределах от -15,73 до -10,08 ‰.

В прожилково-вкрапленном типе минерализации арсенопирит представлен удлиненно призматическими и игольчатыми кристаллами. Размеры кристаллов не превышают 0,1 мм по удлинению и 0,01 мм в поперечнике. В кварцево-жильном и штокерковом типе оруденения минерал встречается в виде идиоморфных коротко- и среднепризматических, редко удлиненно призматических кристаллов, двойников или незакономерных сростков с образованием зернистых масс с размерами кристаллов – от 0,1 до 2 мм.

В восточном блоке рудного поля на прожилково-вкрапленном месторождении Северное Костобе геохимическая зональность ранга рудного тела представлена ассоциациями: As, W, Au, Sb (ядерная зона концентрирования); Cu, Co, Li, Sr, -Ba (зона транзита) и Ni, Cr (зона фронтального концентрирования). В западной части рудного поля на Октябрьском месторождении для верхних частей жильных тел и околожильных березитов свойственны повышенные концентрации Ag, Zn, Pb, для средних – Zn, As, Ba, Pb, Cu, для корневых – Ni, Co, Mo.

Изучение распределения редкоземельных элементов показало их фиксацию на уровне кварцево-жильных тел.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. Признаки золото-концентрирующих (магмо-рудно-метасоматических) систем на современном уровне эрозионного среза находят свое отражение в материалах современных дистанционных съемок в виде комплекса структурно-вещественных признаков. Структурные признаки (очаговые, кольцевые и линейные структуры) указывают на положение золото-концентрирующих систем, а вещественные свидетельствуют об их зональном внутреннем строении, в котором выделяются: внешняя зона, представленная повышенными значениями индексов оксидов железа; промежуточная, соответствующая пропиловому минеральному парагенезису и внутренняя, отвечающая лиственит-березитовому профилю изменений.

Для обоснования данного положения обобщен мировой опыт обработки и дешифрирования данных дистанционных съемок в целях геологического изучения поверхности Земли. На этой основе разработаны рациональные схемы обработки и дешифрирования современных космических снимков Modis, Landsat 7, Landsat 8, Aster, Spot, RapidEye, Alos, Ikonos, WorldView-2, QuickBird и др., а так же цифровых моделей рельефа по данным SRTM и AsterGDEM.

Структурное дешифрирование материалов Modis и мозаик Landsat регионального уровня генерализации позволило выделить основные космогеологические структуры кольцевой и линейной морфологии, характеризующие основные особенности Западно-Калбинской металлогенической зоны (Рисунок 2).

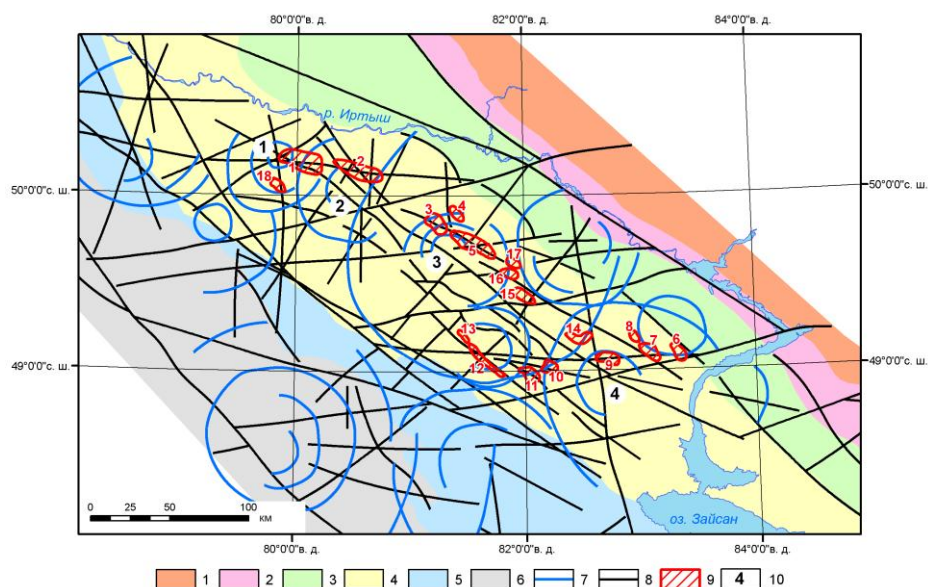


Рисунок – 2. Космоструктурная модель Западно-Калбинской металлогенической зоны и сопредельных территорий (по результатам дешифрирования космических снимков Modis). 1–5 – металлогенические зоны Зайсанской складчатой системы: 1 – Рудно-Алтайская; 2 – Иртышская; 3 – Калба-Нарымская; 4 – Западно-Калбинская; 5 – Жарма-Саурская; 6 – Чингиз-Тарбогатайские каледонские структуры обрамления; 7 – частные кольцевые структуры; 8 – частные линеаменты; 9 – рудные поля (номера см. рис. 4.36); 10 – очаговые структуры Западно-Калбинской металлогенической зоны: Джерек-Суздальская (1), Кедейская (2), Кызыловская (3), Джумбинская (4)

Среди линейных преобладают структуры северо-западного, субширотного, субмеридионального и северо-восточного простирания, которые соответствуют глубинным разломам различного уровня заложения. Северо-западные структуры определяют положение главных геотектонических структур Западно-Калбинской металлогенической зоны. Кольцевые (дуговые) структуры по диаметру разделены на четыре группы: 105–162, 53–64, 28–38 и 15–21 км. Совокупность выделенных парагенных линейных и кольцевых элементов, позволило выделить четыре очаговые структуры – Джерек-Суздальскую, Кедейскую, Кызыловскую и Джумбинскую (Рисунок 2).

Известные рудные районы (узлы) располагаются во внутренних частях выделенных очаговых структур и контролируются участками сопряжения радиальных (чаще северо-западного простирания) и концентрических структурных элементов очаговых структур. Спектральный анализ материалов Aster показал, что по значимым величинам кварцевого индекса, в пределах очаговых структур, выделяются участки округлой формы диаметром 10-25 км. Такие участки по нашему мнению отражают надинтрузивные зоны окварцевания. На примере Бакырчикского рудного района показана связь дешифрируемых структурно-вещественных элементов с рудными таксонами (Рисунок 3).

Структурно-вещественное дешифрирование материалов Landsat ETM+, Landsat-8, Aster, цифровых моделей рельефа SRTM, AsterGDEM локального уровня генерализации позволил установить основные признаки проявления рудных полей. Для Бакырчикского, Боко-Васильевского, Акжальского золоторудных полей составлены схемы дешифрирования и определены основные факторы их локализации (Рисунок 4). К таковым отнесены: системы телескопированных кольцевых структур диаметром 1,5-32 км в узлах сопряжения продольных, поперечных и диагональных разломов; сближенные линейные зоны со следами гидротермальной деятельности, выделенные по значимым величинам кварцевого и серицит-мусковит-глинистого индексов, в отдельных случаях двухвалентного железа, в ореолах высоких значений индексов трехвалентного железа.

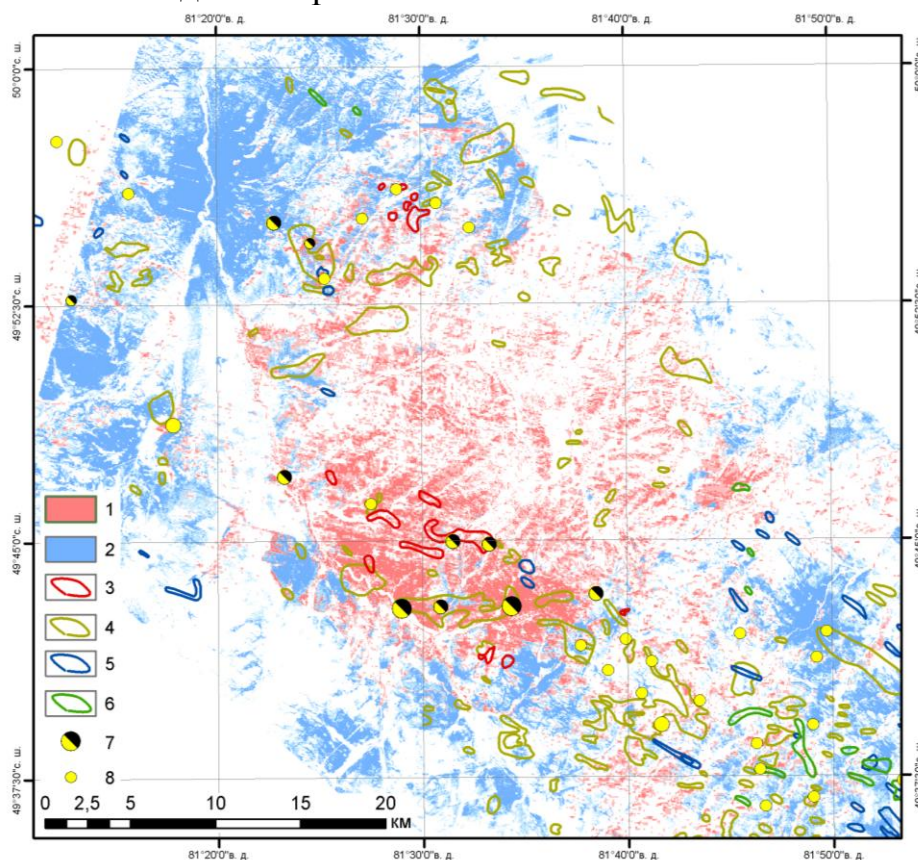


Рисунок – 3. Спектральный образ Бакырчикского рудного района (по материалам обработки ASTER). 1 – значимые величины кварцевого индекса; 2 – значимые величины индекса «Оксиды железа»; 3–6 – геохимические аномалии некоторых микроэлементов во вторичных ореолах рассеяния (по Юрченкову, 1982–1986 ф): 3 – Au ($> 0,005$ г/т); 4 – As ($> 0,005$ %); 5 – Co ($> 0,003$ %); 6 – Ni ($> 0,004$ г/т); 7–8 – месторождения и рудопроявления золота: 7 – прожилково-вкрапленные; 8 – кварцево-жилые

Детальное структурно-вещественное дешифрирование материалов Aster и снимков высокого пространственного разрешения Ikonos, WorldView-2, QuickBird позволило определить основные признаки месторождений и рудных зон. На примере месторождения Баладжал и рудопроявления Костобе

показаны факторы их положения: линейные зоны со значимыми величинами серицит-мусковит-глинистого минерального индекса, с локальными участками высоких значений индекса «Железная шляпа», окруженные высокими показателями индексов трехвалентного железа (Рисунок 5).

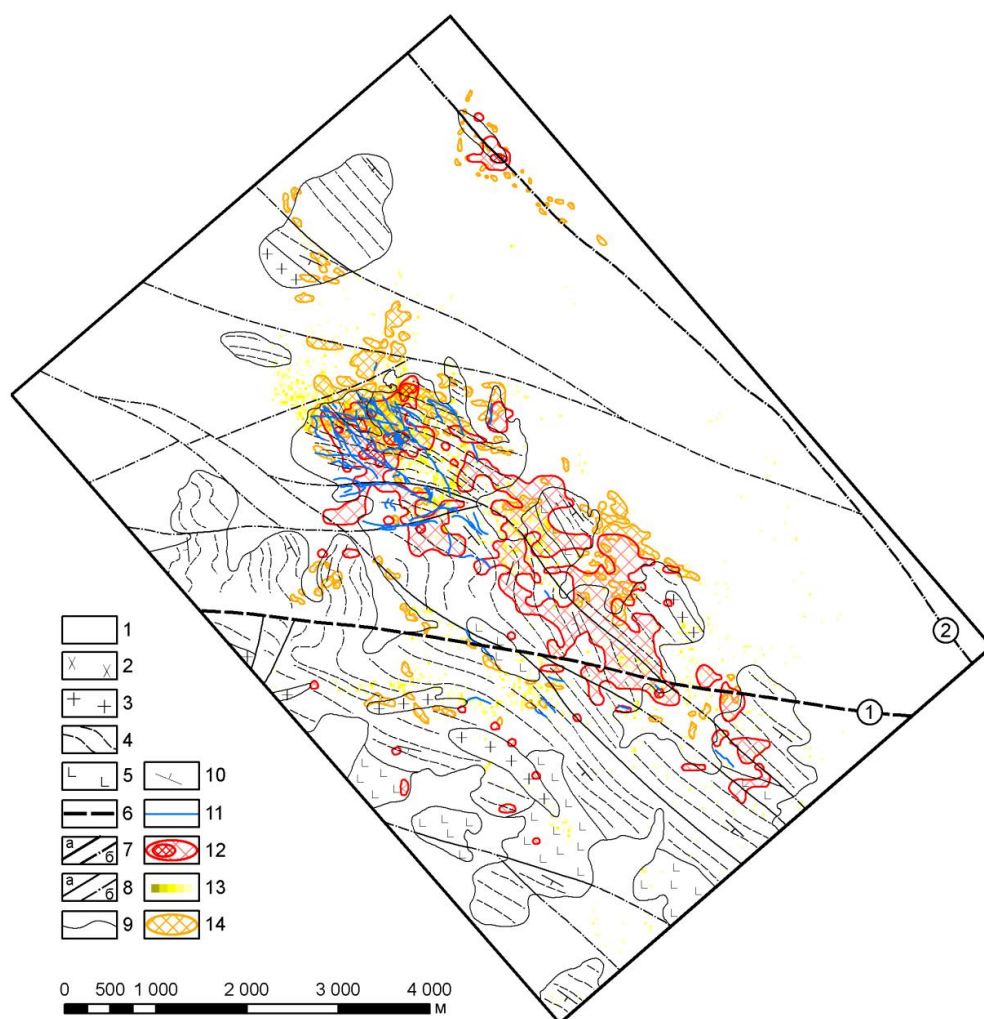


Рисунок – 4. Модель минеральной зональности рудного поля Акжал (геологическая информация приведена по данным Алтайской ГРЭ). 1 – рыхлые кайнозойские отложения; 2 – кварцевые диориты кунушского комплекса; 3 – тела плагиогранитов кунушского комплекса; 4 – терригенные образования аркалыкской свиты визея; 5 – metabазальты аркалыкской свиты визея; 6 – зона Акжалского разлома (на схеме обозначено цифрой 1); 7 – зона Боконского разлома (на схеме обозначено цифрой 2) на дневной поверхности (а) и скрытая под чехлом кайнозойских отложений (б); 8 – прочие разрывные нарушения на дневной поверхности (а) и скрытые под чехлом кайнозойских отложений (б); 9 – геологические границы; 10 – падение стратифицированных образований; 11 – основные кварцевые жилы и рудоносные зоны; 12 – 14 – значимые показатели минеральных индексов (по данным обработки космического снимка Aster): 12 – кварцевый; 13 – мусковит-серицит-глинистый; 14 – трехвалентное железо и оксиды железа

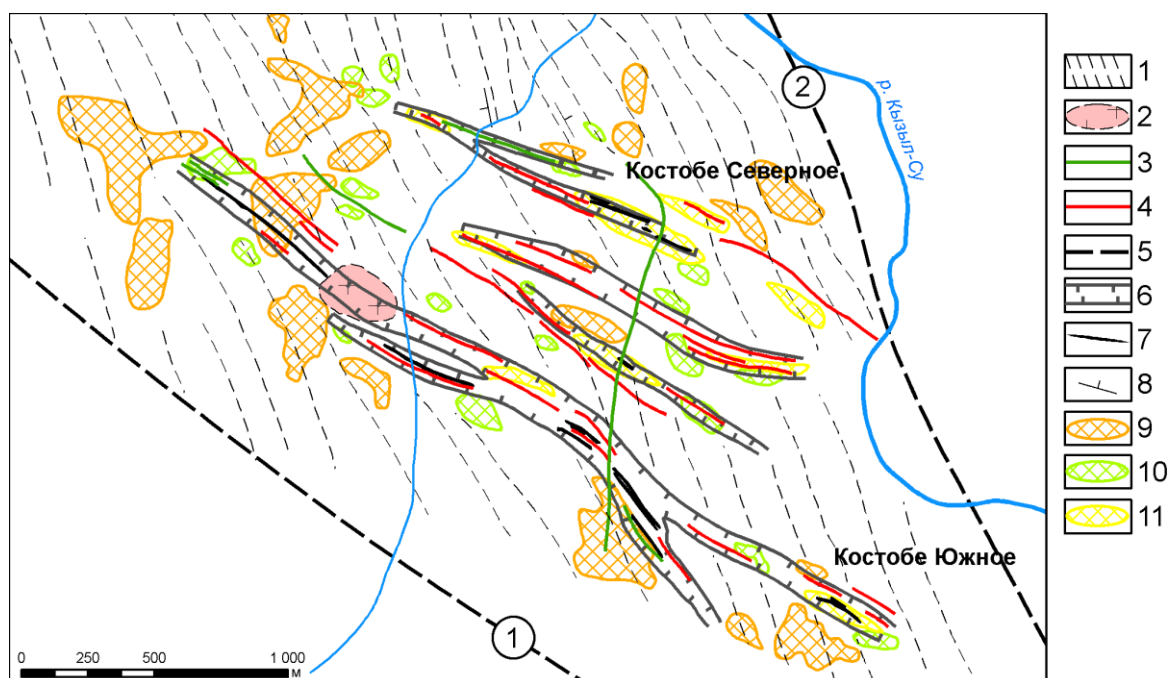


Рисунок – 5. Схема расположения значимых минеральных индексов на участке Костобе. 1 – черносланцевые терригенно-осадочные породы нижней подсвиты калбинской свиты визея; 2 – 4 – интрузивные образования кунушского комплекса: 2 – слепое тело плагиогранитов; 3 – дайки керсантитов и микродиоритов; 4 – дайки плагиогранит-порфиров; 5 – главные разрывные нарушения (1 – Западно-Калбинский глубинный разлом, 2 – Кызылсуйский разлом); 6 – потенциально рудоносные зоны, прослеженные на поверхности; 7 – рудные тела; 8 – падение стратифицированных комплексов; 9 – 11 – значимые показатели минеральных комплексов: 9 – трехвалентного железа; 10 – железистые силикаты; 11 – серицит-мусковит-глинистый.

Выявленные закономерности пространственного положения и внутреннего строения золоторудных районов (узлов), полей и месторождений Западно-Калбинской металлогенической зоны в материалах дистанционных съемок различной степени генерализации позволили обосновать рациональную многоуровневую дистанционную модель рудных таксонов металлогенической зоны (Таблица 1).

ПОЛОЖЕНИЕ 3. Золото-концентрирующие системы Западной Калбы имеют мантийный уровень заложения. Об этом свидетельствуют: характер размещения золоторудных полей в системах телескопированных кольцевых структур вдоль линеаментов подкорового заложения; мантийный источник вещества продуктивного магматического комплекса; метамагматические изменения; комплексный характер оруденения; наличие в составе руд самородных элементов золота, серебра, платиноидов, углерода; особенности распределения золота в метасоматитах, рудах и вмещающих слабометаморфизованных породах.

Таблица 1. Рациональная многоуровневая дистанционная модель золоторудных районов (узлов), полей и месторождений в черносланцевых толщах Западно-Калбинской металлогенической зоны

Уровень генерализации (масштабы)	Рудные таксоны	Дистанционные признаки выделения	Геологическая интерпретация
Региональный (1:1000000)	Рудный район, рудный узел	Системы телескопированных кольцевых структур в узлах сопряжения протяженных продольных с поперечными и диагональными разрывными нарушениями. Участки округлой формы диаметром 10-25 км, выделенные по значимым величинам кварцевого индекса	Мантийные диапиры, внутрикоровые магматические камеры, плутонические комплексы, ареалы их развития и влияния, надинтрузивные зоны окварцевания
Локальный (1:200000 – 1:50000)	Рудное поле	Системы телескопированных кольцевых структур диаметром 1,5-32 км в узлах сопряжения продольных, поперечных и диагональных разломов. Сближенные линейные зоны со следами гидротермальной деятельности, выделенные по значимым величинам кварцевого и серицит-мусковит-глинистого индексов, в отдельных случаях двухвалентного железа, минеральных индексов, окруженные высокими показателями индексов трехвалентного железа	Слепые и вскрытые эрозией коровые магматические камеры и сопряженные с ними системы разрывных нарушений со следами березитизации-лиственитизации
Детальный (1:25000 – 1:5000)	Месторождение, рудная зона	Линейные зоны со значимыми величинами серицит-мусковит-глинистого минерального индекса, с локальными участками высоких значений индекса «Железная шляпа» (Gossan), окруженные высокими показателями индексов трехвалентного железа	Локальные тектонические зоны со следами березитизации-лиственитизации и наложенной окисленной сульфидной минерализацией

Исследования показали, что золоторудные поля и месторождения Западно-Калбинской металлогенической зоны размещаются в системах телескопированных кольцевых структур вдоль линеаментных зон подкорового проникновения. Наши исследования показали, что такие системы кольцевых структур отражают глубинные грибообразные очаги гранитизации, развивающиеся на разделе земная кора – мантия. В свою очередь положение очагов гранитизации определяется региональными разломами подкорового проникновения. Такие разрывные нарушения отчетливо проявляются в материалах дистанционных съемок протяженными зонами линеаментов. Их уровень заложения подтверждается ступенчатым строением сейсмических границ разделов Конрада и Мохо. Для Западно-Калбинской металлогенической зоны Западно-Калбинский глубинный разлом отчетливо проявлен в материалах дистанционных съемок зоной линеаментов северо-западного простирания, шириной до 20 км (Ананьев и др., 2010) и отчетливо фиксируется в сейсмических данных в поверхностях К и М (Булин, 1969). Подобным образом проявлена Татарско-Ишимбинская зона глубинного разлома на Енисейском кряже (Сальников, 2008; Ананьев и др., 2012), Кузнецко-Алтайский глубинный разлом в Кузнецком Алатау (Коробейников и др., 2014; Тектоника..., 1973; Мегакомплексы ..., 2008; Алабин, Калинин, 1999). По таким структурам возможно поступление глубинного вещества в верхние части земной коры.

О поступлении глубинного вещества в верхние участки земной коры свидетельствует «мантийные метки» продуктивного интрузивного позднекаменноугольно-раннепермского кунушского комплекса. Изучение особенностей распределения редкоземельных элементов в интрузивных образованиях этого комплекса ($(La/Sm)_N = 0,96-2,82$, $(Gd/Yb)_N = 0,89-2,3$) показало, что источником вещества этого комплекса могла служить обогащенная мантия с гранатсодержащим реститом. К близким выводам по возможным источникам вещества для позднедевонско-раннекаменноугольных вулканических комплексов Чарской сдвиговой зоны пришли Курганская и др. (2014) и для позднекаменноугольных плагиогранитов Калбинского хребта Куйбида и др. (2009), Гусев и др. (2010). Напротив, для среднепермских батолитовых гранитов в качестве возможных источников вещества указывается нижняя кора (Коробейников и др., 2010).

Большинство исследователей указывают на парагенетическую связь золотого оруденения Западной Калбы с кунушским габбро-плагиогранитным комплексом. Наши исследования показали, что косвенным доказательством магматогенного происхождения золотоносных флюидов служат особенности распределения К и Rb в березитах – на диаграмме К–Rb фигуративные точки полностью соответствуют главному магматическому тренду. Это говорит о том, что концентрации этих элементов в гидротермальном рудообразующем флюиде находятся в соответствии с таковыми отношениями в магматической камере источника. Другим свидетельством единой природы гидротермальных флюидов могут служить закономерности распределения

некогерентных элементов. На бинарных диаграммах некогерентных элементов Y–Zr, Sm–Nb, Zr–Nb, La–Nb для березитов изученных месторождений отчетливо выделяется единый тренд.

Другим свидетельством мантийного уровня заложения золото-концентрирующих систем региона можно считать участие сквозьмагматических флюидов в метасоматическом процессе формирования золоторудных месторождений Западной Калбы. Продуктами участия таких флюидов обычно считаются метамагматические изменения (Коржинский, 1952; Алабин, 1971; Бектобаев, 1975; Пономарева, 1982; Ворошилов, 1986; Коржинский и др., 1987), проявленные в регионе в виде альбит-амфиболовых метадiorитов.

Еще одним доказательством участия глубинных флюидов в формировании золоторудных месторождений может служить комплексный характер оруденения. В месторождениях Западной Калбы золоторудная минерализация сопровождается комплексом элементов – Pt, Pd, W, Ag, U, As, Pb, Zn, Sb, Sn, Mo, PЗЭ и др., которые образуют собственные минеральные виды (куперит платиновый, куперит палладиевый, сперрилит, палладоарсенид, самородная платина, поликсен, платарсит, эрлихманит, шеелит, самородное серебро, настуран, арсенопирит, галенит, сфалерит, антимонит, молибденит, касситерит, ксенотим, монацит, тетраэдрит, халькостибит и др.). Совмещение различных типов минерализаций может быть обусловлено совмещением разноформационного и полихронного оруденения в пределах одних рудоконтролирующих структур или комплексной металлоносностью рудообразующих флюидов. В данном случае формирование рудной минерализации, включающей собственные минералы Au, Ag, U, As, Pb, Zn, Sb, PЗЭ и др., вероятно происходило из единого комплексного металлоносного флюида, а присутствие самородных элементов свидетельствует о восстановительном характере этого флюида.

Повышенные концентрации металлов платиновой группы установлены (Коробейников, 1999, 2006; Ананьев, Коробейников 2009) практически во всех месторождениях региона (Таблица 2). Минеральные формы их нахождения для прожилково-вкрапленных руд месторождений Бакырчик и Большевик установлены Л.Г. Марченко (2010).

Изотопные характеристики серы $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов золотых руд региона лежат в пределах от -15 до 11 ‰. При этом для ряда месторождений (Бакырчик, Баладжал, Костобе, Суздаль) величина показателя $\delta^{34}\text{S}$ лежит в узком диапазоне от -6 до 3 ‰, что может свидетельствовать о ее глубинном источнике. Тем не менее, наличие более легких и более тяжелых изотопов $\delta^{34}\text{S}$ позволяет констатировать о различных источниках серы в рудах Западной Калбы.

Такие же различные источники обнаруживаются и у изотопа углерода $\delta^{13}\text{C}$ органического вещества золоторудных месторождений региона. По данным Марченко (1978, 1980, 1981, 2010), Заири и др. (1979ф), Глебашева и др. (1989), Мизерной (2001, 2010) величина показателя $\delta^{13}\text{C}$ для высших

антраксолитов и шунгитов лежит в пределах от -26 до -21 ‰ со средним значением -25 ‰. Наши исследования показали наличие более «тяжелого» изотопа углерода, значения величины $\delta^{13}\text{C}$ которого лежит в пределах от -20 до -12‰ при среднем значении - 15 ‰.

Таблица 2. Результаты пробирного анализа на ЭПГ и золото руд месторождения Бакырчик (лаборатория Красноярского завода цветных металлов)

п/п	Номер пробы	Содержание элементов, г/т*		
		Pt	Pd	Au
1	57-Т	0,7	0,4	0,5
2	67-Д	0,5	0,4	4,4
3	88Т	0,6	0,4	7,7
4	107Т	1,0	0,4	0,8
5	113Д	0,6	0,4	4,0
6	152Д	0,8	0,4	0,6
7	153Д	0,4	0,4	0,7
8	194Д	1,0	0,4	0,8
9	5216Д	0,8	0,4	2,5
10	АФ-3	1,0	0,5	19,3
11	АФ-4	0,9	0,4	22,0
12	50Т	0,8	0,4	4,4

*Примечание: Для Pt и Pd предел обнаружения 0,1 г/т.

Особенности распределения золота в исходных породах, метасоматитах и рудах свидетельствуют о наложенном характере комплексного оруденения (Ананьев, Коробейников, 2009). Проведенные исследования (Ананьев, 1999; Ананьев, Коробейников, 2009) показали, что фоновая золотоносность вмещающих толщ близка к кларковой (2,2 – 4,4 мг/т). Следует отметить, что в разрезах терригенных пород отсутствуют горизонты с повышенной золотоносностью. Метаморфические преобразования вмещающих черносланцевых толщ карбона в условиях метагенеза и зеленосланцевой фации, привели к частичному перераспределению золота и его незначительному накоплению в более метаморфизованных разностях пород (Ананьев, Коробейников, 2009). При этом установлено, что кварцево-жильное оруденение развито равномерно во вмещающих породах вне зависимости от степени метаморфических преобразований, а прожилково-вкрапленные и вкрапленные рудные объекты обнаруживают тесную пространственную связь с наименее метаморфизованными рудовмещающими черносланцевыми толщами. Необходимо отметить отсутствие значимой латеральной миграции золота при переходе от вмещающих пород к рудам. Динамика накопления золота в метасоматитах приведена выше.

ПОЛОЖЕНИЕ 4. Вновь разработанные региональные дистанционные, уточненные и дополненные локальные метасоматические и минералого-геохимические критерии золотого оруденения положены в основу ресурсоэффективной технологии локализации золото-концентрирующих систем на основе комплексирования структурно-вещественного анализа разномасштабных данных современных космических съёмок и наземных геолого-геохимических исследований.

На первом (региональном) этапе основной задачей исследований является выделение перспективных площадей ранга рудный район – рудный узел на основе структурных критериев. Эти работы выполняются с использованием космических снимков и цифровых моделей рельефов регионального и локального уровней генерализации (Modis, мозаики снимков Landsat, цифровые модели рельефа SRTM и аналогичные). Геологическое дешифрирование всего набора материалов дистанционных съёмок проводится с целью составления космоструктурных схем масштабов 1:500000 – 1:1000000. При исследованиях этого масштабного уровня должны выделяться и картироваться: линеamentные зоны и отдельные разрывные нарушения эпи- и мезозонального уровней заложения; очаговые структуры; кольцевые и дуговые структуры первого и второго порядков; участки сопряжения разноуровневых и разновозрастных линеamentов, линеamentных зон, кольцевых и дуговых структур; элементы строения крупных сдвиговых зон (тектонические линзы и межлинзовые деформационно-метаморфические зоны); вскрытые эрозией и слепые интрузивные массивы. Интерпретация полученных схем дешифрирования проводится с привлечением всей доступной региональной геологической, геофизической и минерагенической информации с выделением перспективных площадей ранга рудный район – рудный узел.

Второй (локальный) этап работ подразумевает проведение комплексного структурно-вещественного анализа материалов дистанционных съёмок на оконтуренных ранее площадях с выделением перспективных участков ранга рудное поле. Работы этой стадии выполняются на базе космических материалов среднего пространственного разрешения (Landsat ETM+, Landsat-8, Aster, цифровые модели рельефов SRTM, AsterGDEM и подобные). Дешифрирование набора дистанционных материалов проводится в целях составления космоструктурных схем масштабов 1:200000 – 1:50000. При производстве этих работ должны выделяться и картироваться: системы телескопированных кольцевых структур третьего и четвертого порядков в узлах сопряжения продольных, поперечных и диагональных разломов; сближенные линейные зоны со следами гидротермальной деятельности, выделяемые по значимым величинам кварцевого, серицит-мусковит-глинистого, двухвалентного железа минеральных индексов, окруженных высокими показателями индексов двух- и трехвалентного железа; интрузивные массивы; дайки;

частные разрывные нарушения; зоны повышенной трещиноватости и будинажа. Интерпретации полученных схем проводится с привлечением архивной геологической, геохимической и геофизической информации (при её наличии) с выделением перспективных площадей ранга рудное поле.

Третий (детальный) этап работ подразумевает выделение перспективных площадей ранга месторождение – рудная зона. Работы этапа проводятся на основе комплексного структурно-вещественного дешифрирования на выделенных на втором этапе площадях. При этом целесообразно использовать данные дистанционных съёмок среднего и высокого пространственного разрешения (Aster, WorldView-3 или аналогичные, цифровую модель рельефа AsterGDEM или аналогичные).

Обработка и дешифрирование всего полученного набора дистанционных материалов выполняется с целью составления космоструктурных схем масштаба 1:10000 – 1:25000. При производстве этих работ необходимо выделять и картировать линейные зоны и тела метасоматитов по значимыми величинами серицит-мусковит-глинистого минерального индекса (или зоны развития мусковита, серицита) с локальными участками высоких значений индекса «Железная шляпа» (Gossan), окруженных высокими показателями индексов трехвалентного железа; контуры интрузивных массивов; пучки даек; частные разрывные нарушения; зоны повышенной трещиноватости, будинажа и кливажа. Интерпретация полученных схем должна проводиться с использованием архивных геофизических и геохимических данных (при их наличии) с последующим выделением перспективных площадей ранга месторождение – рудная зона.

Четвертый (заверочный) этап. Главной задачей этапа является заверка выделенных потенциально рудоносных зон.

На этом этапе целесообразно проводить:

- 1) поисковые маршруты по «разреженной» сети с отбором образцов и геохимических проб по вторичным и первичным ореолам рассеяния;
- 2) анализ геохимических проб на элементы-спутники золотого оруденения: Au, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Ag, W, Mo, Ni, Co, Cr, V;
- 3) изготовление и описание петрографических шлифов с целью подтверждения гидротермальных изменений;
- 4) минералогический анализ проб-протолок на выявление возможных форм нахождения продуктивной рудной минерализации;
- 5) обработка полученных результатов с выделением перспективных участков.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что золото-концентрирующие системы южного складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты формировались в байкальскую, салаирско-каледонскую, герцинскую, мезозойскую металлогенические эпохи развития Центрально-Азиатского складчатого пояса в различных геодинамических обстановках.

Показано, что признаки золото-концентрирующих систем находят свое отражение в материалах спектрональных космических съемок в виде комплекса структурно-вещественных признаков. Структурные признаки определяют положение золото-концентрирующих систем, а вещественные – отражают закономерности их внутреннего строения. Для золото-концентрирующих систем в зеленокаменных поясах и наложенных орогенных прогибах древних платформ, протерозой-фанерозойских складчатых поясах обрамлений платформ и плит, краевых вулканоплутонических поясах и зонах тектоно-магматической активизации определены структурные закономерности пространственного положения. На примере Западно-Калбинской металлогенической зоны разработана рациональная многоуровневая дистанционная модель золоторудных таксонов – районов (узлов), полей и месторождений, показаны особенности их локализации и внутреннего строения.

На основе изучения рудно-метасоматической и минералогеохимической зональностей рудных полей и месторождений Западно-Калбинской металлогенической зоны показано, что интрузивные тела продуктивного кунушского комплекса, околорудные метасоматиты и руды различных структурно-морфологических и минеральных типов образуют протяженные зоны-колонны. Фрагменты этой зоны-колонны проявлены в рудных полях и месторождениях. В корневых частях таких зон-колонн, в телах интрузивов габбро-плагиогранитной формации, развиты альбит-амфиболовые, кварц-полевошпатовые, пропилитовые, лиственит-березитовые метасоматиты, сопряженные преимущественно с вкрапленными золото-сульфидными рудами. В нижних частях, среди ороговикованных черносланцевых толщ карбона, прорванных кислыми дайками габбро-плагиогранитной формации, проявлены кварц-полевошпатовые метасоматиты, пропилиты и лиственито-березиты с сопряженными сложно ветвящимися золото-сульфидными кварц-карбонатными жилами и линейными штокверками. В средних частях зон-колонн, в неороговикованных и слабоороговикованных черносланцевых толщах, прорванных дайками «пестрого» состава (плагиогранит-порфиры, сиенит-порфиры, микродиориты, керсантиты) габбро-плагиогранитной формации, преимущественно развиты лиственито-березиты с прожилково-вкрапленным и вкрапленным золото-углеродисто-сульфидным оруденением. В верхних частях, в углеродистых толщах карбона, проявлены маломощные зоны лиственито-березитов со стволовыми непротяженными убого-сульфидными золото-кварцевыми жилами и линейными штокверками.

Комплекс полученных данных (характер размещения золоторудных полей в системах телескопированных кольцевых структур вдоль линеаментов подкорового заложения; мантийный источник вещества продуктивного интрузивного комплекса; характер ранних метасоматических изменений; комплексный характер оруденения; наличие в составе руд самородных элементов золота, серебра, платиноидов, углерода; особенности

распределения золота в метасоматитах, рудах и вмещающих слабометаморфизованных породах) позволяют констатировать, что золото-концентрирующие системы Западной Калбы имеют мантийный уровень заложения.

Вновь разработанные дистанционные и уточненные метасоматические, минералого-геохимические критерии положены в основу рациональной методики прогнозирования и поисков золоторудных объектов. Предусмотрено проведение четырех последовательных этапов. На первом этапе по структурным критериям дистанционными исследованиями прогнозируются потенциальные рудные районы и узлы. Задачей второго и третьего этапов является локализация рудных полей, месторождений и рудных зон по структурно-вещественным критериям, выделяемым по данным дистанционных съемок. Задача четвертого этапа состоит в заверке прогнозных площадей сетью наземных поисковых маршрутов с отбором образцов и литохимических проб по вторичным и первичным ореолам рассеяния с последующим анализом на продуктивные и сопутствующие микроэлементы и минералого-петрографические исследования.

Список основных опубликованных работ по теме диссертации

Монографии

1. **Ананьев, Ю.С.** Метасоматизм и благороднометалльное оруденение в черносланцевых толщах Западной Калбы / **Ю.С. Ананьев, А.Ф. Коробейников.** – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 206 с.
2. **Поцелуев, А.А.** Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая) / **А.А. Поцелуев, Ю.С. Ананьев, В.Г. Житков, В.Н. Назаров, А.С. Кузнецов.** – Томск: STT, 2007. – 228 с.
3. **Коробейников, А.Ф.** Мантийно-коровые рудообразующие системы, контролирующие благородные металлы / **А.Ф. Коробейников, Ю.С. Ананьев, А.И. Гусев.** – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 262 с.
4. **Коробейников, А.Ф.** Рудно-метасоматическая и геохимическая зональность золоторудных полей и месторождений складчатых поясов Сибири / **А.Ф. Коробейников, Ю.С. Ананьев, А.И. Гусев, В.Г. Ворошилов, Г.Г. Номоконова, А.Я. Пшеничкин, Т.В. Тимкин.** – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 458 с.
5. **Коробейников, А.Ф.** Научные основы прогнозирования и поисков золотых и комплексных золото-платиноидных месторождений: прогнозно-поисковые комплексы / **А.Ф. Коробейников, Ю.С. Ананьев, В.Г. Ворошилов, А.К. Мазуров, Г.Г. Номоконова, А.Я. Пшеничкин.** – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 255 с.

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. **Ананьев, Ю.С.** Типоморфные особенности самородного золота Западной Калбы / **Ю.С. Ананьев, А.Я. Пшеничкин** // Известия ТПУ. – 2001. – Т. 304, №1. – С. 66–72.

2. Ворошилов, В.Г. Рудно-метасоматическая и геохимическая зональность Каратавского рудопроявления золота (Восточный Саян) / В.Г. Ворошилов, **Ю.С. Ананьев** // Известия ТПУ. – 2003. – Т. 306, № 4. – С. 33–38.
3. Пшеничкин, А.Я. Распределение золота, платины, палладия в хвостохранилище Ольховской золотоизвлекательной фабрики / А.Я. Пшеничкин, А.Ф. Коробейников, **Ю.С. Ананьев**, Ю.Е. Зыков // Цветные металлы. – 2006. – № 6. – С. 29–31.
4. Поцелуев, А.А. Космоструктурная модель района Калгутинского редкометалльного месторождения (Горный Алтай) / А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, И.Ю. Анникова и др. // Известия ТПУ. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 45–53.
5. **Ананьев, Ю.С.** Космоструктурные модели золоторудных объектов Западной Калбы / **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, В.Г. Житков // Известия ТПУ. – 2010. – Т. 317, №1. – С. 35–41.
6. **Ананьев, Ю.С.** Метасоматические процессы в черносланцевых толщах Западной Калбы / **Ю.С. Ананьев** // Геология и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 3–8.
7. **Ананьев, Ю.С.** Космоструктурная модель Зыряновского рудного района (Рудный Алтай) / **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, В.Г. Житков, В.Н. Назаров, А.С. Кузнецов // Известия ТПУ. – 2010. – Т. 316, № 1. – С. 24–31.
8. Поцелуев, А.А. Материалы современных космических съемок при изучении рудоносных районов Сибири / А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, В.Г. Житков // Руды и металлы. – 2011. – № 3–4. – С. 138–139.
9. Бабкин, Д.И. Золото и серебро в рудах Калгутинского месторождения (Горный Алтай) / Д.И. Бабкин, А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев** // Известия ТПУ. – 2011. – Т. 319, №1. – С. 53–57.
10. **Ананьев, Ю.С.** Космоструктурные позиции золоторудных объектов заангарской части Енисейского кряжа / **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, В.Г. Житков // Известия ТПУ. – 2012. – Т. 320, № 1. – С. 38–47.
11. **Ананьев, Ю.С.** Редкоземельные элементы в метасоматитах и рудах золоторудных месторождений Западной Калбы / **Ю.С. Ананьев** // Известия ТПУ. – 2012. – Т. 321, № 1. – С. 56–62.
12. Поцелуев, А.А. Золото в рудах редкометалльного месторождения Сарымбет (Северный Казахстан) / А.А. Поцелуев, В.В. Перегудов, Д.И. Бабкин, **Ю.С. Ананьев** // Известия ТПУ. – 2012. – Т. 321, № 1. – С. 41–45.
13. Житков, В.Г. Структуры северо-востока Пур-Тазовской нефтегазоносной области в материалах космических съемок / В.Г. Житков, А.А. Поцелуев, В.А. Кригин, В.Н. Устинова, **Ю.С. Ананьев** // Газовая промышленность. – 2013. – № 692. – С. 52–56.
14. Ворошилов, В.Г. Механизмы формирования и методы выявления разноранговых аномальных геохимических полей / В.Г. Ворошилов, **Ю.С. Ананьев** // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 8. – С. 41–45.

15. Тимкин Т.В., Геохимическая зональность с элементами геолого-структурной неоднородности Топольнинского рудного поля (Горный Алтай) / Т.В. Тимкин, **Ю.С. Ананьев**, А.И. Бушманов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2, часть 3. – С. 509–513.

16. Житков, В.Г. Новые данные по структуре района Ванкорского газонефтяного месторождения / В.Г. Житков, А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, В.А. Кринин // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 4. – С. 44–54.

Основные материалы, опубликованные в трудах международных и всероссийских конференций

1. Пшеничкин, А.Я. Типоморфные особенности и поисковое значение пиритов и арсенопиритов золоторудных месторождений черносланцевых толщ / А.Я. Пшеничкин, **Ю.С. Ананьев** // Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых. Труды Всероссийской научной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.-С. 129-136.

2. Житков, В.Г. Позиция крупных полиметаллических месторождений Рудного Алтая в космогеологических структурах / В.Г. Житков, А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, А.С. Кузнецов // Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых. Материалы геологической конференции, посвященной 75-летию со дня основания кафедры разведочного дела и специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». – Томск: Изд-во ТПУ, 2005, с. 391-396.

3. Поцелуев, А.А. Дешифрирование космических снимков высокого пространственного разрешения для обеспечения геолого-съёмочных и прогнозно-поисковых работ / А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, В.Г. Житков // Техничко-технологическое обеспечение геологоразведочных работ: проблемы и перспективы: Тез. докл. М.: Геоинформмарк, 2007. С. 93-95.

4. Поцелуев, А.А. Космические методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых / А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, В.Г. Житков // Золото северного обрамления Пацифика. Международный горно-геологический форум. Тезисы докладов Всеколымской горно-геологической конференции, посвященной 80-летию Первой Колымской экспедиции Ю.А. Билибина (Магадан, 10-14 сентября). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008, с. 232-234.

5. Поцелуев, А.А. Рудные районы и полиметаллические месторождения Рудного Алтая в материалах современных космических съёмок / А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, В.Г. Житков // «Большой Алтай – уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии». Материалы международной конференции. – Алматы–Усть-Каменогорск, 2010. – С. 161–162.

6. Поцелуев, А.А. Рудные районы Центральной Азии в материалах современных космических съёмок / А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, В.Г.

Житков, А.Б. Байбадша // Материалы междунар. науч. – прак. конф. посвящ. 110-лет. изв. геолога лауреата Ленинской премии Г. Ц. Медоева проведенного совместно с ИГН им. К.И. Сатпаева, 13-14 окт. 2011 г. – Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2011. – С. 257–263.

7. **Ананьев, Ю.С.** О первой находке настурана в золоторудном месторождении Бакырчик / **Ю.С. Ананьев**, Д.И. Бабкин, А.А. Поцелуев // В сб. Минералогия, геохимия и полезные ископаемые Азии. – Томск: Томский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА Минэнерго России. – 2012. – Вып. 2. – С. 86 – 89.

8. **Ананьев, Ю.С.** Особенности распределения редкоземельных элементов в метасоматитах и рудах золоторудных месторождений в черносланцевых толщах Западной Калбы / **Ананьев Ю.С.** // Материалы Всероссийского совещания (с участием иностранных ученых) «Современные проблемы геохимии», посвященного 95-летию со дня рождения академика Л.В.Таусона. – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. – В 3-х томах. – Т. 3. – С. – 8–11.

9. **Ананьев, Ю.С.** Опыт использования материалов космических съемок при разведке Жилинского месторождения калийных солей / **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, В.Г. Житков, А.С. Кузнецов, Г.Г. Фрейман // Материалы научно-практической конференции «Технология геологоразведочных работ». – Алматы, 2013. – С. 155 – 158.

10. Пшеничкин, А.Я. Поисково-оценочные работы и локальный прогноз золоторудных месторождений / А.Я. Пшеничкин, **Ю.С. Ананьев** // Технология геологоразведочных работ: Материалы научно-практической конференции. – Алматы, 2013. – С. 105 – 108.

11. **Ананьев, Ю.С.** Типоморфизм самородного золота золоторудных месторождений Западной Калбы / **Ю.С. Ананьев**, А.Я. Пшеничкин // Материалы минералогического семинара с международным участием. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2013. – С. 167 – 168.

12. Житков, В.Г. Структурная позиция Комсомольской площади Ортон–Балыксинского золотоносного района по материалам космических съемок / В.Г. Житков, А.А. Поцелуев, **Ю.С. Ананьев**, В.К. Кондрин, Е.А. Белоножко // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В.А., Усова М.А., Урванцева Н.Н до наших дней. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 169–174.

13. **Ананьев, Ю.С.** Структуры месторождений Хиагдинского урановорудного поля в материалах мультиспектральных космических съемок / **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, А.А. Новгородцев, В.Г. Мартыненко, Житков В.Г. // Материалы IV международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 48–52.

14. Пшеничкин, А.Я. Технология поиска и локального прогноза золоторудных месторождений по типоморфным свойствам пирита / А.Я. Пшеничкин, **Ю.С. Ананьев** // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири:

от Обручева В.А., Усова М.А., Урванцева Н.Н до наших дней: Материалы Всероссийского форума с международным участием. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 267–272.

15. **Ананьев, Ю.С.** Рудные поля и месторождения цветных, редких и благородных металлов в материалах современных космических съемок / **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, В.Г. Житков // Материалы второй международной конференции «Новые технологии обработки и использования данных дистанционного зондирования земли в геологоразведочных работах и при ведении мониторинга опасных геологических процессов», 22-24 апреля 2014, Санкт-Петербург – Спб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2014. – С. 37–40.

16. Житков, В.Г. Космоструктуры юго-западного фланга Верхнемунского кимберлитового поля / В.Г. Житков, **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, И.Г. Коробков // Материалы IV Региональной научно-практической конференции «Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии». – Мирный, 2014. – С.60–63.

17. **Ananyev, Yu.** Rare-earth element distribution patterns in metasomatites of Eastern Kazakhstan gold -ore deposits / Yu. Ananyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2015. – Vol 24: Scientific and Technical Challenges in the Well Drilling Progress. 24–27 November 2014 Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. – Electronic resource: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/24/1/012002/meta>.

18. Voroshilov, V. Anomaly Geochemical Fields in Siberian Hydrothermal Gold Deposits / V. Voroshilov, O. Savinova, **Yu. Ananev**, R. Abramova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014.– Vol. 21: XVIII International Scientific Symposium in Honour of Academician M. A. Usov: Problems of Geology and Subsurface Development 7–11 April 2014, Tomsk, Russia. – Electronic resource: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/21/1/012009/meta>.

19. **Ananyev, Yu.** Hydrothermal alteration mapping of Siberian gold-ore fields based on satellite spectroscopy data / Yu. Ananyev, A. Maskov, R. Abramova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2015/ – Vol. 27: XIX International Scientific Symposium in honor of Academician M.A. Usov "Problems of Geology and Subsurface Development" 6–10 April 2015, Tomsk, Russia. – Electronic resource: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012001/meta>.

20. **Ананьев, Ю.С.** Позиция и тектонические структуры Уряхского рудного поля по данным дешифрирования современных космических снимков / **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, В.Г. Житков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6, часть 2. – С. 260–264.

21. Pshenichkin, A. Exploration and local forecast of gold-ore deposits based on typomorphic properties of pyrite / A. Pshenichkin, **Yu. Ananyev**, A.

Bushmanov, R. Abramova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2015/ – Vol. 27: XIX International Scientific Symposium in honor of Academician M.A. Usov «Problems of Geology and Subsurface Development» 6–10 April 2015, Tomsk, Russia. – Electronic resource: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012008/meta>.

22. Житков, В.Г. Закономерности геологического строения и металлогении Рудноалтайской сдвиговой зоны на основе анализа современных мультиспектральных космических снимков / В.Г. Житков, **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев // Материалы 3-й международной научной конференции «Корреляция Алтаид и Уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения». – Новосибирск: ИГиМ СО РАН, 2016. – С. 76–78.

23. **Ананьев, Ю.С.** Иерархическая структура Западно-Калбинской металлогенической зоны в материалах космических съемок / **Ю.С. Ананьев**, А.А. Поцелуев, В.Г. Житков // Материалы международной научно-практической конференции «Инновации и перспективные технологии геологоразведочных работ в Казахстане», посвященные 90-летию со дня рождения Г.Р. Бекжанова 16-17 марта 2017 г. – Алматы, 2017. – С. 71–75.

24. **Ананьев, Ю.С.** Комплексирование дистанционных и геохимических исследований в целях прогнозирования и поисков золоторудных объектов / **Ананьев Ю.С.**, Ворошилов В.Г. // Сборник тезисов докладов VII научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов». 13-14 апреля 2017 г., Москва, ФГУП ЦНИГРИ. 2017. – С. 132.

25. Пшеничкин, А.Я. Критерии прогноза и оценки перспектив золоторудных месторождений на основе типоморфных свойств пирита / А.Я. Пшеничкин, **Ю.С. Ананьев** // Актуальные проблемы геологии, геофизики и металлогении: Материалы научно-технической конференции, посвященной 80-летию создания Института геологии и геофизики и 105-летию со дня рождения академика Х.М. Абдуллаева. – Ташкент: ГП «ИМР», 2017. – Кн. 3. – С. 270–273.