

На правах рукописи



Столяров Владимир Владимирович

**СОСТАВ, УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ
ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-СКАРНОВОГО ТИПА СЕВЕРНОГО ФЛАНГА
ТЫРНЫАУЗСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Ростов-на-Дону – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте аридных зон Южного научного центра Российской академии наук

Научный руководитель Парада Сергей Григорьевич,
доктор геолого-минералогических наук

Официальные оппоненты: Кременецкий Александр Александрович,
доктор геолого-минералогических наук, научный
руководитель института, «Институт
минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов» (ФГУП ИМГРЭ)

Черемисин Алексей Аркадьевич,
кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник отдела геолого-
экономической оценки месторождений,
«Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных и
благородных металлов» (ФГУП ЦНИГРИ)

Ведущая организация ФГБОУ ВПО Воронежский государственный
университет, Геологический факультет

Защита состоится 24 декабря 2015 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 216.016.01 при Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГУП ЦНИГРИ).

Адрес: 117545, Москва, Варшавское шоссе, д.129, корп.1.

С диссертацией можно ознакомиться в геолфонде ФГУП ЦНИГРИ (по адресу: г. Москва, Варшавское шоссе, д.129, корп. 1) и на сайте Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» <http://www.tsnigri.ru/?q=node/146>

Автореферат разослан «.....» октября 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



Кряжев С.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В последние годы возрос интерес к скарновым месторождениям как к самостоятельным золоторудным объектам в связи с разведкой и подготовкой к освоению крупного месторождения Лос-Филос в Южной Мексике, показавшего, что месторождения скарнового типа могут содержать крупные и сверхкрупные запасы золота. Вместе с тем в представлениях о составе и условиях локализации золото-скарновых месторождений, определяющих их поисковые признаки, остаются спорные вопросы, разрешение которых иногда становится возможным при изучении нового, ранее не изученного объекта с привлечением комплекса современных методов исследования. Как раз таким объектом может стать недавно открытое золотое оруденение в скарнах Северного фланга Тырныаузского рудного поля, результаты первого исследования которого изложены в данной диссертационной работе. Эти результаты могут стать теоретической основой обоснования постановки работ по переоценке масштабов золотого оруденения в скарнах не только Тырныаузского рудного поля, но и других подобных объектов России.

Цель. Изучить состав и охарактеризовать условия образования и локализации золотого оруденения, разработать на этой основе прогнозно-поисковую модель золото-скарновых объектов Тырныаузского рудного поля.

Задачи. 1. Оценить современное состояние проблемы золотоносности скарновых месторождений и основные их типоморфные признаки.

2. Уточнить геологическое строение Северного фланга Тырныаузского рудного поля и геологические предпосылки золотого оруденения на основе результатов современной крупномасштабной геологической съемки.

3. Выявить особенности строения Зыгыркольской рудоносной зоны и условия локализации золото-скарновых руд на основе анализа новых данных структурно-поискового бурения, крупномасштабных площадных геологических, геохимических и геофизических исследований.

4. Определить состав и последовательность выделения породообразующих и рудных минералов золотоносных скарнов Зыгыркольской рудоносной зоны, морфологию, морфометрию, внутреннюю структуру и химический состав частиц самородного золота с применением современных электронно-микроскопических методов.

5. Установить новые геохимические и геофизические поисковые признаки и разработать прогнозно-поисковую модель золото-скарнового оруденения Северного фланга Тырныаузского рудного поля.

Методы исследований. В основу предлагаемого исследования заложен методический подход, суть которого в одновременном определении геологических условий локализации и вещественного состава золото-скарновых руд, выявлении поисковых предпосылок и признаков на основе новых данных геологоразведочных работ с привлечением комплекса традиционных и современных методов научных исследований. В качестве основных методов использованы геологические, минералого-петрографические, химико-аналитические, геохимические и геофизические. Они включали: полевое изучение и документацию проявлений рудных минерализаций и вмещающих пород; отбор образцов для изготовления шлифов и аншлифов; минералогический анализ тяжелой фракции шлихов, полученных в результате промывки «хвостов» бороздовых и керновых проб; оптико-микроскопические, лазерно-микроскопические и электронно-микроскопические исследования пород и минералов; эмиссионный спектральный анализ пород и руд; пробирный анализ с ICP окончанием на содержание благородных металлов (Au, Pd, Pt) в рудах, вмещающих породах и отдельных минералах; фракционный скрин-анализ самородного золота в рудах способом пробирной плавки с ICP окончанием; замеры магнитной восприимчивости горных пород и руд; специализированную цифровую обработку результатов крупномасштабных геохимической и магнитной съемок. Обработка материалов осуществлялась с использованием компьютерных программ

Microsoft Office, Statistica, Adobe Photoshop, CorelDraw, Surfer, ArcMap.

Фактический материал и личный вклад автора. Диссертация базируется на детальном анализе геологоразведочной информации (3085 п.м. канав и 1105 п.м. колонкового бурения, крупномасштабные геологическая, геохимическая и геофизическая съемки, поисковые маршруты) и обширной аналитической базе (более 3500 пробирных анализов на золото, более 10000 химико-спектральных анализов на Au и спектральных анализов на 25 других рудообразующих элементов), полученных ООО «Каббалкгеология» в 2010-2014 г.г. в ходе проведения поисковых работ на золото в восточной части Передового хребта. Автор принимал непосредственное участие в этих работах в качестве стажера-исследователя, а затем м.н.с. отдела геологии ИАЗ ЮНЦ РАН по договору с ООО «Каббалкгеология» (2010-2011 г.г.) и по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 27 (2012-2014 г.г.). Лично автором задокументировано 60 п.км. геологических маршрутов, 1000 п.м. канав и 800 п.м. керн скважин, сделано 267 замеров магнитной восприимчивости руд и горных пород в коренном залегании. Кроме того, изготовлены и изучены 89 шлифов, 75 аншлифов и 78 искусственных шлихов из проб-протолок, а также 6 монофракций самородного золота для электронно-микроскопического исследования.

Основные защищаемые положения.

1. Золото-скарновое оруденение Северного фланга Тырнаузского рудного поля локализуется в пироксен-гранатовых и гранатовых скарнах, развитых в пределах протяженной Зыгыркольской тектонической зоны. Ее металлогеническая специализация определяется положением в промежуточной зоне единой тырнаузской рудно-магматической системы, в тыловой зоне которой развиты вольфрамовые и молибденовые, а во фронтальной зоне – свинцовые и сурьмяные руды.

2. Золото является основным ценным компонентом в скарновых рудах Зыгыркольской зоны. Рядовые содержания Au определяются частицами самородного золота мелких ($-0,1$ мм) классов, среди которых преобладают идиоморфные морфогенетические виды. Повышенные содержания связаны с более крупным золотом ($+0,1$ мм), с преобладанием частиц неправильных видов. Самородное золото ассоциирует с самородным висмутом и теллуридами, характеризуется высокой пробностью (897-939‰), содержит в своем составе Ag (5,6-9,9%) и типичные для золото-скарновых месторождений примеси Bi (0,12-0,67%) и Te (0,04-0,41%).

3. Во вторичных ореолах рассеяния Зыгыркольская рудоносная зона выделяется областью аномальных значений Au, Ag, Bi, Cu, Zn, As, Pb, Sb. Наиболее интенсивные и контрастные геохимические аномалии Au вытянуты в виде цепочки вдоль ее осевой части и связаны с конкретными телами золотоносных скарнов. Установлена геохимическая зональность вторичных ореолов рассеяния внутреннего подтипа конформного типа. Она отражает с одной стороны металлогеническую зональность рудного поля, с другой стороны – уровень эрозионного среза.

4. На основе построения прогнозно-поисковой модели выявлен комплекс критериев и признаков золото-скарнового оруденения Тырнаузского рудного поля. Все они (магматические, контактово-метаморфические, гидротермально-метасоматические, структурные) обусловлены развитием альпийского магматического комплекса. Новыми для рудного поля поисковыми признаками золотого оруденения являются локальные магнитные аномалии, отвечающие телам скарнов, и геохимические аномалии золота и сопутствующих элементов, отвечающие участкам золотоносных минерализаций в скарнах. На основе сочетания этих и других признаков оценены перспективы выявления новых золоторудных объектов.

Научная новизна. 1. По результатам анализа новых данных поискового бурения и крупномасштабной геологической съемки выявлены ранее неизвестные особенности геологического строения Зыгыркольской рудоносной зоны и условия локализации золото-скарновых рудных тел, связанные с интенсивной тектонической проработкой и наличием разломов сколового типа СЗ простирания, пироксен-гранатовых

апороговиковых скарнов, альпийских малых интрузий лейкократовых гранитов, оптимальным эрозийным срезом.

2. Впервые выделены и изучены современными лазерно-микроскопическими и электронно-микроскопическими методами частицы самородного золота из скарновых руд, выявлено преобладание золотин цементационного и интерстициального морфогенетических видов, а также высокая пробность (897-939‰), примеси Ag (5,6-9,9 %), Bi (0,12-0,67 %) и Te (0,04-0,41 %), характерные для типичных золото-скарновых месторождений, обосновано отнесение выявленных руд к золото-скарновому геолого-промышленному типу.

3. Установлена зональность аномалий во вторичных ореолах рассеяния Северного фланга Тырныаузского рудного поля, в соответствии с которой последовательное добавление к комплексным аномалиям Au, Ag и Cu таких элементов, как Zn, Pb, As и Sb могут указывать на уменьшение денудационного среза золотоносной структуры, а последовательное добавление Sn, W, Mo, Bi и Mn – на его увеличение. Это дает основание считать, что Перевальный участок имеет минимальный, а Нижний участок – оптимальный для золотого оруденения уровень денудационного среза.

4. Проведена модернизация математических моделей многопорядковых аномалий магнитного поля с разделением их на локальные и региональные. Локальные аномалии магнитного поля, в совокупности с площадными геохимическими аномалиями обеспечили получение новых достоверных площадей развития выходящих и не выходящих на поверхность скарнов, в том числе золотоносных.

Практическая значимость. Научные результаты исследований золотого оруденения в скарнах Северного фланга Тырныаузского рудного поля, выполненные с привлечением комплекса современных методов, позволили:

- предложить принципиально новую прогнозно-поисковую модель, в которой геолого-промышленный тип модельного объекта обоснован как золото-скарновый с убогосульфидным оруденением;

- оценить перспективы выявления новых рудных объектов, многочисленных участков скарнов без признаков сульфидной минерализации, что в целом расширяет перспективы обнаружения золото-скарновых рудных тел в пределах Тырныаузского рудного поля;

- оперативно скорректировать направление дальнейших поисковых работ и подобрать более рациональный комплекс геологических, геохимических и геофизических методов поисков.

Результаты диссертационного исследования также нашли отражение в Отчете о результатах работ по объекту № 1-18/10: «Поисковые работы на золото в Восточной части минерагенической зоны Передового хребта (Кабардино-Балкарская республика)» в 2010-2012 г.г. Нальчик, 2013г., в его разделах: 4.1. Результаты геохимических работ и 4.4. Результаты геофизических работ.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения работы и результаты исследований докладывались автором на Ученом совете ИАЗ ЮНЦ РАН, а также были представлены на международных и региональных конференциях и совещаниях: IX Международной научно-практической конференции «Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования», г. Новочеркасск, 2010 г.; II Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», г. Грозный, 2012г.; Всероссийской молодежной конференции «Минералы: строение, свойства, методы исследования», г. Новочеркасск, 2012г.; III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, 2013 г.; X ежегодной научной конференции студентов и аспирантов базовых кафедр ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, 2014 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 6 статей в журналах, внесенных в список изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и рекомендаций, общим объемом 157 машинописных страниц, включая 74 иллюстраций и 16 таблиц, а также списка литературы из 167 опубликованных работ и 13 наименований фондовых материалов.

Благодарности. За предоставленную возможность проведения полевых работ и доступа к фондовым материалам автор благодарен начальнику Управления по недропользованию по Кабардино-Балкарской республике к.г.-м.н. А.С. Емкужеву. Автор признателен всем сотрудникам ООО «Каббалкгеология» с которыми вот уже 6 лет проводит полевые работы и особенно генеральному директору А.Н. Алиеву и ст. геологу М.С. Емкужеву. Так же автор выражает благодарность Председателю ЮНЦ РАН, академику Г.Г. Матишову и директору Института аридных зон, д.г.н. чл.-корр. РАН Д.Г. Матишову за постоянную поддержку и предоставленную возможность проведения настоящего исследования. За консультации, советы и активное обсуждение работы в ходе ее подготовки автор признателен всем сотрудникам отдела геологии ИАЗ ЮНЦ РАН. Особую благодарность и признательность автор выражает своему научному руководителю д.г.-м.н. С.Г. Параде.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В Главе 1 «СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ СКАРНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ» приводится аналитический обзор современных представлений о золото-скарновых месторождениях и исторический обзор поисковых и научно-исследовательских работ на золото в пределах Тырныаузского рудного поля.

Первые сведения о золотоносности геологических образований в пределах современного положения Тырныаузского рудного поля получены И.Н. Ситковским в 1928-1929 г.г. при проведении поисковых работ на полиметаллы. С 1934 г. под руководством Б.В. Орлова проводятся поисковые и геологоразведочные работы на вольфрам, молибден, полиметаллы, сурьму. Там же с 1935 г. комбинатом «Севкавзолото» под руководством Б. П. Кулеша начинаются целевые поисковые работы на коренное золото, в результате которых Б. П. Кулеш пришел к выводу о бесперспективности исследованного района в отношении промышленного золотого оруденения. С 1948 г. возобновились попытки оценить золотоносность территории Тырныаузского рудного поля, которые с небольшими перерывами продолжались до 1973 г. Эти работы проводились силами Северо-Кавказского геологического управления и ГРЭ Тырныаузского вольфрам-молибденового комбината под руководством С.А. Шмарьяна (1952 г.), А.С. Еремеева (1953 г.), Д.Ф. Ворожбенко (1949-1954 г.г.), В.Г. Микиртумова (1965-1968 г.г.), Ф.А. Трифонова (1972 г.), Е.В. Аксаментова (1973 г.) и др. Все они были сосредоточены, в основном, на Северном фланге Тырныаузского рудного поля и включали в разное время геологические маршруты, геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния, геофизические поиски, проходку канав, штолен и скважин, химико-спектральный и пробирный анализ на золото бороздовых и керновых проб. Также проводилась оценка золотоносности вольфрам-молибденовых руд собственно Тырныаузского месторождения путем анализа дубликатов отобранных ранее проб. В итоге выявлены вторичные ореолы рассеяния серебра, олова, мышьяка, сурьмы, а также 11 аномалий магнитного поля, в том числе «Аномалия № 3», связанная со скарнами Зыгыркольской зоны, установлены повышенные содержания золота в разрозненных пробах из различных гидротермальных и метасоматических образованиях, а также в вольфрам-молибденовых рудах, на Северном фланге выявлены золотоносные участки «Сухие балки», «Аномалия № 3», «Молибденовый штокерк» и «Рудная зона 69», рудопроявления Февральское, Новое и др., показана пространственная связь золотого оруденения с дайками лейкократовых гранитов тырныаузского интрузивного комплекса и приуроченность его к крупным разрывным структурам северо-западного

направления (Зыгыркольской и Хромитовой). Рекомендовано проведение подземных горных и буровых работ на золото в пределах этих зон.

Научно-исследовательские работы, проведенные за это время в пределах Тырныаузского рудного поля касались, главным образом, различных аспектов вольфрам-молибденового оруденения, так как выявленные в то время золоторудные проявления не имели промышленных перспектив из-за низких содержаний золота и незначительных параметров. Минералогией и условиями формирования вольфрам-молибденовых руд, вмещающих и околорудных метасоматитов занимались в разное время сотрудники МГУ Е.Н.Граменицкий, Л.Я.Аранович, О.В.Кононов, Н.Г.Зиновьева, И.В.Нестеров, Е.А.Дзгоева, Р.А.Виноградова, Л.И.Рогачева, Ростовского госуниверситета В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Ю.А.Сафаров, Новочеркасского политехнического института А.Д.Каленов, В.С.Исаев, З.И.Курдюкова, Е.А.Нырков, Н.С. Скрипченко и др. Вопросам геологических условий локализации вольфрам-молибденового оруденения и его связи с магматизмом рассмотрены в работах А.В.Пэка, В.И.Андрианова, А.Г.Гурбанова, В.И.Рехарского, Ю.И.Блинова, Л.А.Варданянца, В.В.Веселова, В.А.Москалева В.И.Старостина, Р.Н.Соболева, Г.А.Семочкина, С.П.Соловьева, Н.С.Скрипченко, В.С.Попова, А.А.Кременецкого, В.В.Ляховича, Н.Г.Родзянко, Н.К.Нефедова, А.Ф.Свириденко. Вопросы золотоносности в некоторых из них, если и затрагивались, то лишь в качестве второстепенных и касательно золотоносности вольфрам-молибденовых и сопутствующих сульфидных руд.

Отдельный раздел посвящен подробной характеристике методов исследования. В Главе 2 «ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-СКАРНОВОГО ТИПА СЕВЕРНОГО ФЛАНГА ТЫРНЫАУЗСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ» рассмотрена позиция рудного поля в геологических и металлогенических структурах Северного Кавказа, приведена геологическая характеристика его Северного фланга на основе современных данных крупномасштабного геологического картирования, горнопроходческих и буровых работ, раскрыты геологические предпосылки золотого оруденения. Подробно охарактеризованы рудные тела четырех золотоносных участков Зыгыркольской рудоносной зоны, раскрыты геологические условия локализации золото-скарновых рудных тел.

В Главе 3 «ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-СКАРНОВОГО ТИПА ЗЫГЫРКОЛЬСКОЙ РУДОНОСНОЙ ЗОНЫ» раскрыты минералогические и геохимические особенности золотоносных скарнов Зыгыркольской рудоносной зоны, охарактеризованы состав и последовательность выделения порообразующих и рудных минералов. Особое внимание уделено результатам электронно-микроскопического изучения морфологии и морфометрии, внутренней структура и химического состава частиц самородного золота, выделенных автором из золото-скарновых руд, представлены результаты химико-аналитического определения гранулометрического состава самородного золота, обосновывается золото-скарновый геолого-промышленный тип оруденения.

В Главе 4 «ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ И ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-СКАРНОВОГО ТИПА ТЫРНЫАУЗСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ» приводятся результаты авторской обработки данных площадных поисков по вторичным ореолам рассеяния и магнитометрической съемки, обосновываются конкретные геохимические и геофизические поисковые признаки и предлагается принципиально новая прогноз-поисковая модель золото-скарнового оруденения Тырныаузского рудного поля, а также приводятся минералогические, геохимические и геофизические признаки платиноносности его Северного фланга.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Золото-скарновое оруденение Северного фланга Тырныаузского рудного поля локализуется в пироксен-гранатовых и гранатовых скарнах, развитых в пределах протяженной Зыгыркольской тектонической зоны. Ее металлогеническая специализация определяется положением в промежуточной зоне единой тырныаузской рудно-магматической системы, в тыловой зоне которой развиты вольфрамовые и молибденовые, а во фронтальной зоне – свинцовые и сурьмяные руды.

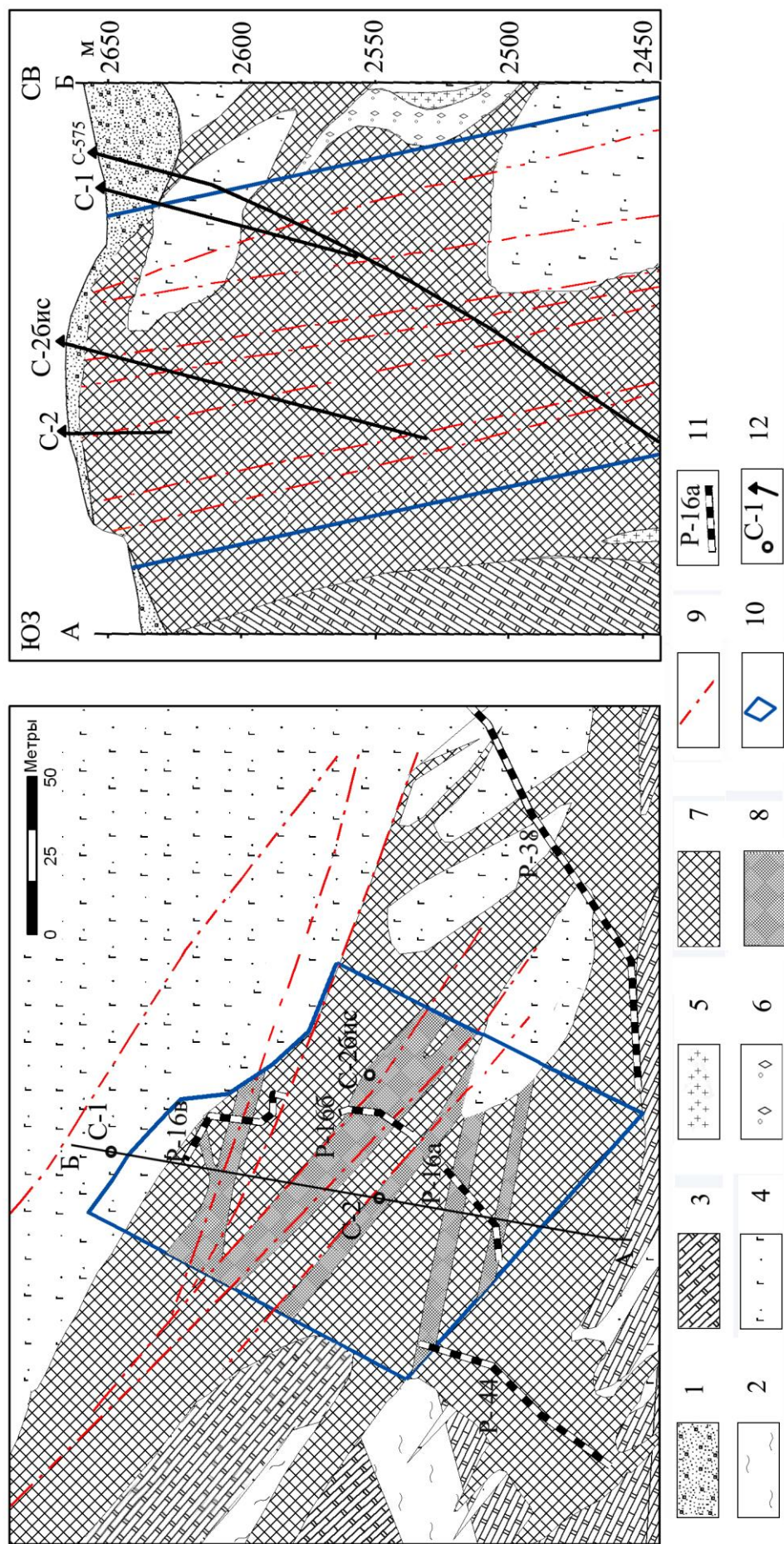
По результатам крупномасштабной геологической съемки, металлометрического опробования, геофизических и горно-проходческих работ в пределах Северного фланга Тырныаузского рудного поля локализована Зыгыркольская рудоносная зона характеристика которой приведена в [1, 2, 3, 13, 14]¹. Ее протяженность более 2 км при ширине от 200 до 500 м. Всего выявлено четыре рудоносных участка – Нижний, Средний, Верхний и Перевальный, где оконтурены золоторудные тела. Наиболее изученным является Нижний участок. Пройденная здесь расчистка вскрыла на всем своем протяжении золотоносные пироксен-гранатовые и гранатовые скарны с содержаниями золота по данным пробирного анализа от десятых долей г/т до 10,1 г/т (рис. 1А). Суммарная длина интервалов, отвечающих параметрам рудных тел (среднее содержание золота не менее 2,5 г/т при мощности не менее 3 м) равна 36 м. Золотоносность на глубине подтверждается пройденными скважинами 1, 2, и 2-бис (рис.1Б). По скв. 1 выделен трехметровый рудный интервал. Золотоносный интервал по скв. 2 устанавливается сразу с поверхности. При этом среднее содержание золота на 15 метров видимой мощности составило 1,7 г/т. Внутри него выделен 8-ми метровый золоторудный интервал. По скв. 2-бис выделены 3 рудных интервала общей длиной 45,4 м и средним содержанием золота 2,5 г/т.

Сопоставление результатов геологической документации керна буровых скважин с результатами пробирного анализа на золото керновых проб показывает, что повышенные (в т. ч. рудные) содержания золота, обнаружены только в гранатовых, пироксен-гранатовых и гранат-пироксеновых скарнах, образованных по роговикам и (или) ороговикованным андезитами и их туфам. Иногда они отмечаются в прилегающих сверху или снизу роговиках и (или) скарнированных андезитах. Так, например, по скв. 2 бис золотое оруденение, локализованное в гранат-пироксеновом скарне в интервале 74,9-82,8 м распространяется в перекрывающие и подстилающие интенсивно скарнированные пироксен-плагноклазовые роговики на 3,5-4,0 м, где содержания золота составляют от 0,43 до 1,31 г/т. На остальных трех участках золотоносные интервалы также представлены скарнами.

Сама Зыгыркольская зона, включающая золотоносные участки, приурочена к одноименной системе долгоживущих разломов, взбросо-сдвиговая природа которых выявлена путем крупномасштабного геологического картирования. Она располагается среди комплексов палеозойско-нижнекаменноугольных пород, представленных слоистыми мраморизованными известняками и мелкообломочными, зачастую также слоистыми туфами и палеолавами андезитов с редкими невыдержанными прослоями серых филлитовидных сланцев.

Весь комплекс осадочных и вулканогенных пород района Зыгыркольской зоны представляет собой синклинальную складку с ундулирующим шарниром северо-западного простираения, в ядре которой обнажаются мраморизованные известняки, а на крыльях вулканогенные породы с прослоями филлитовидных сланцев. Осевая поверхность складки превращена в мощную зону тектонического дробления и трещиноватости, которая отчетливо фиксируется участками понижения кажущегося электрического сопротивления. В северо-западном направлении ось этой складки

¹ Здесь и далее в квадратных скобках приведены ссылки на работы автора, приведенные в конце автореферата.



А

Б

1 – элювиально-делювиальные отложения; 2 – филлиты; 3 – мрамора; 4 – андезиты и их туфы; 5 – лейкократовые граниты; 6 – кварцево-карбонатные метасоматиты; 7 – скарны гранатовые и пироксен-гранатовые; 8 – золоторудные тела; 9 – разрывные нарушения; 10 – контур подсчета прогнозных ресурсов категории Р; 11 – горные выработки и их номера; 12 – поисковые скважины и их номера

Рисунок 1 – Геологический план (А) и разрез (Б) Нижнего участка Зыгрькольской рудной зоны

испытывает восстание под углом около 10° , в то время как рельеф в этом же направлении воздымается под углом 20° . Это значит, что относительно рельефа Зыгыркольская рудоносная зона испытывает погружение [3]. Интенсивно дробленные породы зоны залечены наложенными на них пироксен-гранатовыми и гранатовыми скарнами. Об этом свидетельствует наличие тектонических брекчий, где обломки, представленные палеозойскими известняками, туфами и андезитами, сцементированы скарнами. Последнее хорошо видно в расчистках 16 и 31, пройденных соответственно на Нижнем и Среднем участках.

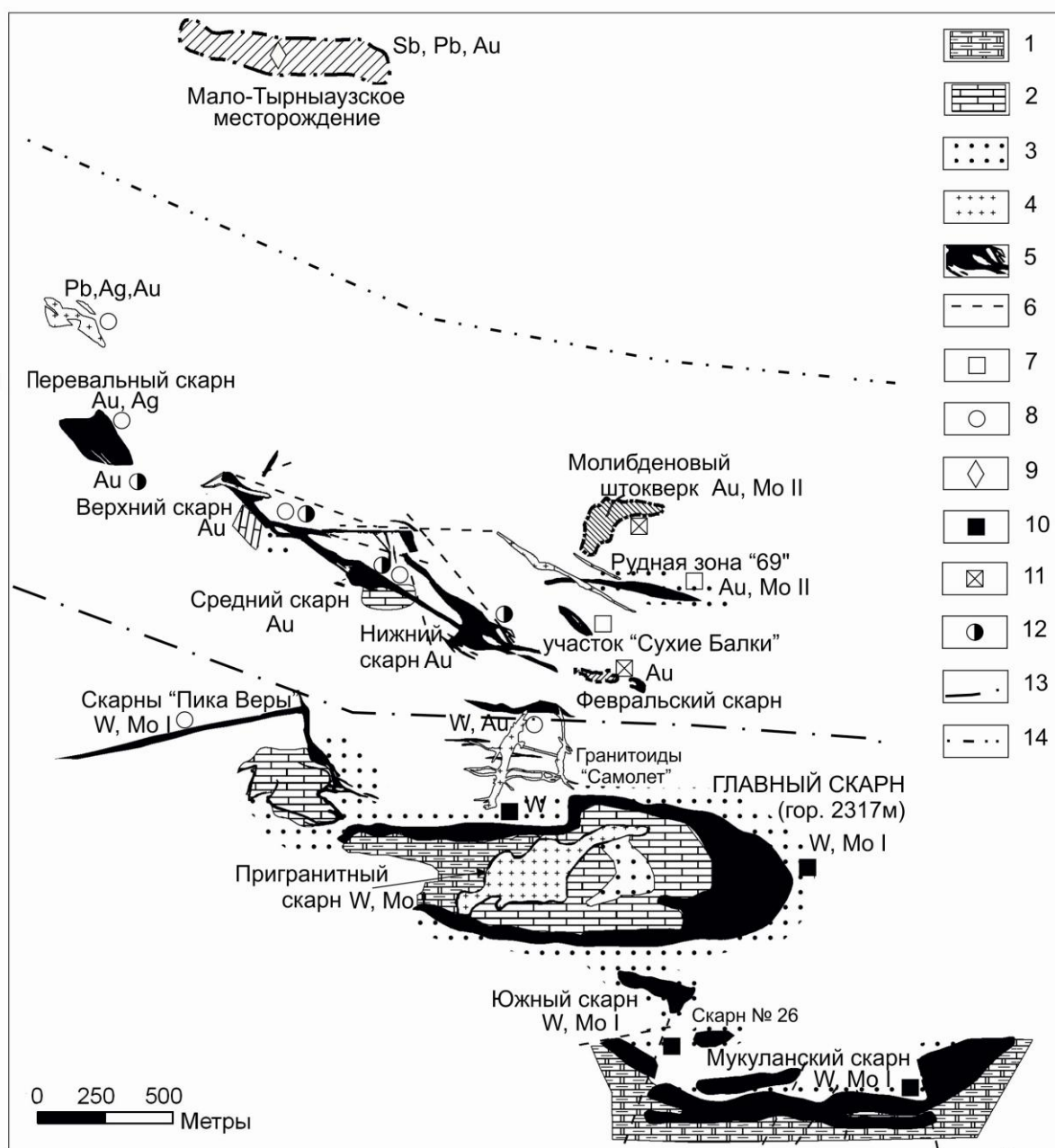
Таким образом, этот разлом имеет позднепалеозойское заложение, однако подвижки вдоль него имели место и в период кайнозойской тектоно-магматической активизации, что подтверждается наличием альпийских даек. Альпийский возраст лейкократовых гранитов установлен К-Ar методом и варьирует от 2,1 млн. лет (Борсук, 1979) до 7-20 млн. лет (Багдасарян, Ляхович, 1981). В пределах Зыгыркольской зоны лейкократовые граниты образуют несколько параллельных даек мощностью 8-9 м. Лейкократовые граниты иногда содержат повышенные содержания золота, заключенного в кварцевых прожилках и сульфидах. В отличие от чисто золотого типа оруденения в скарнах, где $Au/Ag > 1$, в дайках преобладает серебро ($Au/Ag < 1$), в связи с чем это оруденение можно отнести к золото-серебряному геохимическому типу. Оруденение в дайках встречается редко, в незначительных масштабах и промышленной ценности не представляет.

В пределах Тырнаузского W-Mo месторождения лейкократовые граниты прорывают рудоносные скарны, сами же секутся телами эльджуртинских гранитов и риолит-порфиров, а также кварц-пироксен-гранатовыми с шеелитом, кварц-молибденитовыми и кварц-карбонат-сульфидными рудными жилами (Веселов, Москалев, 1968). В свою очередь, в зонах экзоконтакта лейкократовых гранитов с мраморами образовались слаборудоносные биметасоматические пироксен-гранатовые скарны. Эти данные свидетельствуют об интраскарновом и интарудном внедрении лейкократовых гранитов.

Формирование ореола ороговикования, рудоносных скарнов и оруденения Тырнаузского рудного поля связывается со становлением альпийских интрузий тырнаузского гранитового гипабиссального комплекса (Скрипченко, 1954; Хрущов, 1958; Пэк, 1962; Семочкин, 1969; Родзянко и др., 1973; Пэк, Снежко, 1975; Ляхович, 1976; Соболев, Кононов, 1993; Старостин и др., 1999; Старостин, 2012; Парада, Столяров, 2012). В его составе выделяются несколько разорванных во времени фаз: первая фаза – дайки и штоки лейкократовых гранитов; вторая – эльджуртинские граниты; третья – некки, дайки гранит-порфиров и риолитов.

Согласно результатам специализированных исследований Тырнаузской рудно-магматической системы (Старостин и др., 1999) имело место гидротермально-пневматолитовое рудообразование в условиях литостатической разгрузки при длительном и неравномерном воздымании блоков горных пород. При этом, как полагает В.И. Старостин с соавторами, рудоотложение происходило на уровнях насыщения, которые, перемещаясь в пространстве, создавали рудную зональность.

Особенности пространственного распределения различных типов оруденения в пределах Тырнаузского рудного поля, приведенные на рис. 2, подтверждают это. В эпицентре оруденения, расположенного к юго-востоку от изучаемой площади, в центральной части Тырнаузского месторождения, развиты Mo-W руды, которые в север-северо-западном направлении сменяются золотыми рудами и далее свинцовыми и сурьмяными рудами. Это подтверждает наличие единой рудно-магматической системы на основе гранитоидов тырнаузского комплекса, функционирование которой в альпийскую эпоху привело к отложению различных типов руд в различных температурных зонах экзоконтактовой области интрузии. В соответствии с существующими схемами гипогенной зональности, в высокотемпературной области отложились шеелит, молибдошеелит и молибденит, в



1 – мраморы слоистые; 2 – мраморы массивные; 3 – роговики; 4 – лейкократовые граниты; 5 – скарны; 6 – тектонические контакты; 7-12 – типы оруденения: 7 – магнетит-сульфидно-золотое; 8 – колчеданно-полиметаллическое с золотом; 9 – сурьмяное; 10 – вольфрам-молибденовое; 11 – золото-сульфидное в кварцевых прожилках; 12 – золотое; 13 – южная граница распространения золотого оруденения; 14 – южная граница распространения сурьмяного оруденения

Рисунок 2 – Схема металлогенической зональности и распределения минеральных типов оруденения ТЫРНЫАУЗСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (составлена с использованием материалов Н.Г. Родзянко и др., 1973)

среднетемпературной – самородное золото, далее – галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, теллуриды золота, в низкотемпературной зоне – джемсонит, антимонит, электрум, минералы серебра.

2. Золото является основным ценным компонентом в скарновых рудах Зыгыркольской зоны. Рядовые содержания Au определяются частицами самородного золота мелких (– 0,1 мм) классов, среди которых преобладают идиоморфные морфогенетические виды. Повышенные содержания связаны с более крупным золотом (+0,1 мм), с преобладанием частиц неправильных видов.

Самородное золото ассоциирует с самородным висмутом и теллуридами, характеризуется высокой пробностью (897-939%), содержит в своем составе Ag (5,6-9,9%) и типичные для золото-скарновых месторождений примеси Bi (0,12-0,67%) и Te (0,04-0,41%).

Оценка содержаний попутных благородных и цветных металлов в золото-скарновых рудах, выполнена по результатам эмиссионного спектрального анализа дубликатов бороздовых и керновых проб из золотоносных интервалов. Она показала отсутствие их промышленно значимых концентраций (Таблица 1). Лишь серебро в качестве попутно извлекаемого компонента иногда может иметь значение в наложенных сульфидных рудах. Однако масштабы их проявления незначительные. Таблица 1. Среднее содержание Au и Ag (в г/т) и других рудных элементов (в $\text{px}10^{-3}\%$) в сульфидных рудах из пироксеновых скарнов Перевального (1), в гранат-пироксеновых скарнах Среднего (2) и в пироксен-гранатовых скарнах Нижнего (3) участков Зыгыркольской рудоносной зоны

№ п/п	Кол-во проб	Au	Ag	W	Mo	Sn	Bi	As	Sb	Cu	Zn	Pb
1	370	0,33	19	14	0,4	3	3	190	46	110	190	36
2	379	0,35	5,5	1	5,6	17	2	90	3	10	10	8
3	146	0,56	1	2	3,7	11	12	30	2	20	20	3

Сопоставление и анализ результатов геологической документации керна буровых скважин и результатов пробирных определений золота показали, что содержания золота в скарновых рудах, вероятно, не зависят ни от типа сопутствующих сульфидно-магнетитовых и полиметаллических руд, ни от форм проявления, количества и состава рудных минералов [9, 15]. Показателен в этом отношении золотоносный интервал 105,0-108,2 м (скв. 8 на Нижнем участке), представленный прослоем карбонатизированного гранат-пироксенового скарна в серых тонкослоистых мраморах. Рудная минерализация здесь представлена прожилками, вкрапленностью и гнездами пирит-халькопиритового состава с примесью пирротина и сфалерита, содержания которых в сумме на массу скарна не превышают 5 %. В 2-х пробах из этого 3-х метрового интервала содержание золота составило 10,2 и 11,9 г/т, еще в одной пробе – 3,1 г/т. В верхнем зальбанде скарна на границе с мрамором в инт. 104,7-105,1м выделяется зона гнездово-прожилковой минерализации пирит-халькопирит-магнетитового состава с мощностью прожилков и гнездовых выделений до 7-8 см. Этот интервал большей своей частью попал в керновую пробу С8-84, что отразилось на аномально высоком содержании меди (более 1%), несколько повышенном содержании мышьяка (0,06%) и никак не отразилось на содержании золота (0,07 г/т). Ниже располагается интервал, где основной материал представлен скарном без заметного количества сульфидов. Содержание золота в пробе из этого интервала составило 10,2 г/т. Наличие примеси сульфидного материала из соседнего интервала в этой пробе отразилось только высоким содержанием меди (более 1%). Чисто золотоносный интервал, представленный двумя пробами ниже, геохимически выделяется по высоким содержаниям висмута (0,1-0,3%), которые не фиксируются в прилегающей сверху сульфидно-магнетитовой минерализации. Подобная сульфидно-магнетитовая минерализация отмечается на отметке 127,3 м в 3,5-метровом прослое слабо золотоносного скарна с содержаниями золота от 0,1 до 0,4 г/т. Керновая проба, в состав которой попал сульфидно-магнетитовый материал, показала содержание золота 0,3 г/т, а наличие рудного материала сказалось на повышенном содержании меди (0,5%). И таких примеров можно привести много. Так, в скв. 7 инт. 104,5-106,0 м отмечается гнездово-прожилковая колчеданно-полиметаллическая минерализация с содержанием сульфидов до 10 %. Пробирный анализ керновой пробы С7-155 из этого интервала показал отсутствие золота.

Отсутствие связи содержаний золота с сульфидами подтвердилось и при исследовании «хвостов» 50 бороздовых проб, отобранных из рудных интервалов по

расчетам №№ 16, 31 и 38, в которых содержания золота по результатам пробирного анализа составили от 0,6 до 9,9 г/т. Результаты минералогического анализа шлихов показали крайнюю бедность их рудными минералами. В некоторых шлихах обнаружены пирит, магнетит, халькопирит, арсенопирит и галенит. Наиболее распространенными из них оказались пирит, в меньшей степени магнетит и халькопирит. Пирит установлен в 41 из 50 проб, в 9 пробах его не оказалось, в том числе, в пробе Р-16А-33, где содержание золота по пробирному анализу составило 7,3 г/т. Всего в 8 пробах из 41 пирит отмечается в повышенных количествах, в т. ч., в пробах с низким содержанием золота 0,8г/т (Р-16В-9). Магнетит присутствует в 21 пробе из 50. Повышенные его количества отмечены всего в 2-х пробах, причем одна из них содержит минимальное количество золота (0,7 г/т), другая – повышенное (7,3 г/т). Халькопирит также обнаружен только в 21 пробе из 50. Заметно повышенных его количество не отмечено ни в одной пробе. Арсенопирит обнаружен в 8 пробах с содержаниями золота по результатам пробирного анализа от 0,6 до 2,5 г/т. Галенит определен в 5 пробах с содержанием золота от 1,2 до 3,9 г/т. Оказалось, что в 4-х пробах с максимальными содержаниями золота (5,6; 6,4; 7,3; 9,9 г/т), в шлихах из которых установлено самородное золото, такие минералы, как халькопирит, арсенопирит и галенит не обнаружены.

Результаты исследования технологической пробы золото-скарновой руды, выполненного в ЦНИГРИ, также показали низкое содержание сульфидов в руде, не превышающее 1 %, что еще раз подтверждает полученные нами данные о низкой сульфидности изученных золото-скарновых руд. Фазовый анализ технологической пробы показал, что подавляющая часть золота в руде (76,03%) находится в свободном виде, 17,21% - в открытых сростках, то есть 93,24 % металла в тонкоизмельченной руде доступно для цианирования. С кислоторастворимыми минералами связано 1,37%; в сульфидах заключено 4,68%. На долю тонкодисперсного золота, заключенного в породных минералах, приходится 0,71 %.

Задача определения крупности частиц самородного золота в золото-скарновых рудах Зыгирьской зоны решена нами способом пробирного фракционного скрин-анализа соотношения фракций самородного золота менее и более 0,1мм [12]. Для этого были отобраны «хвосты» бороздовых проб, в которых рядовым пробирным анализом ранее выявлены значимые содержания золота. Скрин-анализ осуществлен в лаборатории ООО «Stewart Geocemical and Assay» (г. Москва) по следующей методике. Измельченный после дробления материал пробы массой 1 кг просеивался на сите 150 меш (105 мкм) для отделения частиц более крупного размера (которые вызывают наибольшую неравномерность распределения). Затем проводилось раздельное определение золота в плюсовой и минусовой фракциях пробирным методом анализа с последующим атомно-абсорбционным окончанием. Анализ результатов показал, что средние содержания золота в рядовых пробах в основном соответствуют полученным скрин-анализом содержаниям золота, что подтверждает относительную равномерность распределения его в руде.

Содержание золота в крупной фракции, составляющей всего 3-5 % всей пробы, обычно ниже, чем в мелкой фракции, составляющей основную часть пробы (95-97 %). Это значит, что уровень средних содержаний золота в руде определяется в основном содержанием мелкой (менее 0,1мм) фракции. Влияние крупной фракции на повышение среднего содержания золота в руде отмечается в том случае, когда его содержание золота в крупной фракции превышает 10 г/т.

Полученные нами данные подтверждаются результатами выполненного в ЦНИГРИ более детального гранулометрического анализа технологической пробы (Таблица 2).

Эти результаты показывают, что подавляющая часть золота в руде (около 60 %) обладает размерами менее 0,1 мм, т.е. представлена микроскопическим золотом (по классификации Л.А. Николаевой и С.В. Яблоковой, 2007), при этом более половины микроскопического золота можно отнести к пылевидному и тонкодисперсному

Таблица 2 – Гранулометрический состав технологической пробы золото-скарновой руды с определением распределения золота по классам крупности (по данным ЦНИГРИ, 2014 г.)

Классы, мм	Выход, %	Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
+ 1	0,43	0,54	0,11
- 1 + 0,5	28,03	0,88	11,55
- 0,5 + 0,25	20,12	1,22	11,50
- 0,25 + 0,10	18,46	1,96	16,94
- 0,10 + 0,071	6,5	3,6	10,96
- 0,071 + 0,04	8,23	4,95	19,07
- 0,04	18,23	3,5	29,87
Исходная руда	100,0	2,14	100,0

классам (менее 0,05 мм). Остальные 40 % относятся к видимому золоту весьма мелкого (0,1-0,25 мм) и мелкого (0,25-1,0 мм) классов.

Частицы самородного золота для исследований выделялись из серого шлиха путем извлечения ручным электромагнитом подавляющей части нерудных минералов (гранаты и пироксены). После этого они очищались отдувкой оставшихся минералов. Морфологические исследования выделенных частиц проведены в лаборатории 3D-микроскопии Южного научного центра РАН на сканирующем лазерном конфокальном микроскопе KEYENCE VK-9700 (Япония), позволившем сформировать 3D визуализацию исследуемых золотин с точностью измерений по горизонтали 100 нм, по вертикали 10 нм (рис. 3) [17, 18]. Все выделенные частицы самородного золота относятся к мелкому и весьма мелкому классам. Их можно отнести к двум морфологическим типам: 1) идиоморфному и 2) неправильному. В составе идиоморфного типа выделены частицы следующих морфогенетических видов (по Н.В. Петровской, 1973): 1) кристаллы и 2) плохо огранённые и округлые индивиды и их сростки; в составе неправильного типа выделяются частицы, которые можно отнести к 3) цементационному и 4) интерстициальному морфогенетическим видам. Такое многообразие форм выделения самородного золота является признаком для золото-скарновых месторождений (Николаева и др., 1995; Николаева, Яблокова, 2007), в которых отложение золота происходит в нестабильных условиях минералообразования при максимальной неоднородности среды.

Из всех выделенных частиц самородного золота к кристаллам отнесена только одна (см. 13 на рис. 3). По форме это ромбододекаэдр, образованный гранями 110. Он представляет правильную (изометричную) разновидность, что обусловлено свободным ростом в пустотах или метасоматическим замещением вмещающей среды в близповерхностных условиях.

К виду плохо огранённых и округлых индивидов и их сростков отнесены частицы 1, 2, 3, 4, 6, 15 и 16 на рис. 3. Общим критерием отнесения этих частиц к данному виду послужили их округленные формы, контуры которых не подчиняются формам трещин или интерстиций. Предполагается, что такие формы возникают, если вершины и ребра октаэдров притупляются в связи с развитием множества граней. Частицы под номерами 1, 2, 3 на рис. 3, представляющие амебообразную разновидность, характерны для золота, кристаллизующегося совместно с сульфидами поздних генераций, где они располагаются в интерстициях минеральных агрегатов и в слагающих их зернах вдоль трещин спайности, а округлые изометричные (15), удлинённые (4 и 16) и лепешковидные (6) индивиды золота имеют метасоматическое происхождение. Частицы самородного золота цементационного морфогенетического вид образуются, как известно, в брекчиях и на пересечениях трещин и более всего характерны для малоглубинных месторождений. Основным критерием отнесения выделенных нами частиц самородного золота к данному виду является их изометричность и сложное внутреннее строение. Таких частиц пять - 5, 7, 8, 9 и 11. Среди них отмечаются следующие разновидности: 5 – комковидная плотная, с угловатыми ограничениями и с небольшим количеством коротких ответвлений, придающим частице паукообразность, что характерно для золота, образовавшегося в

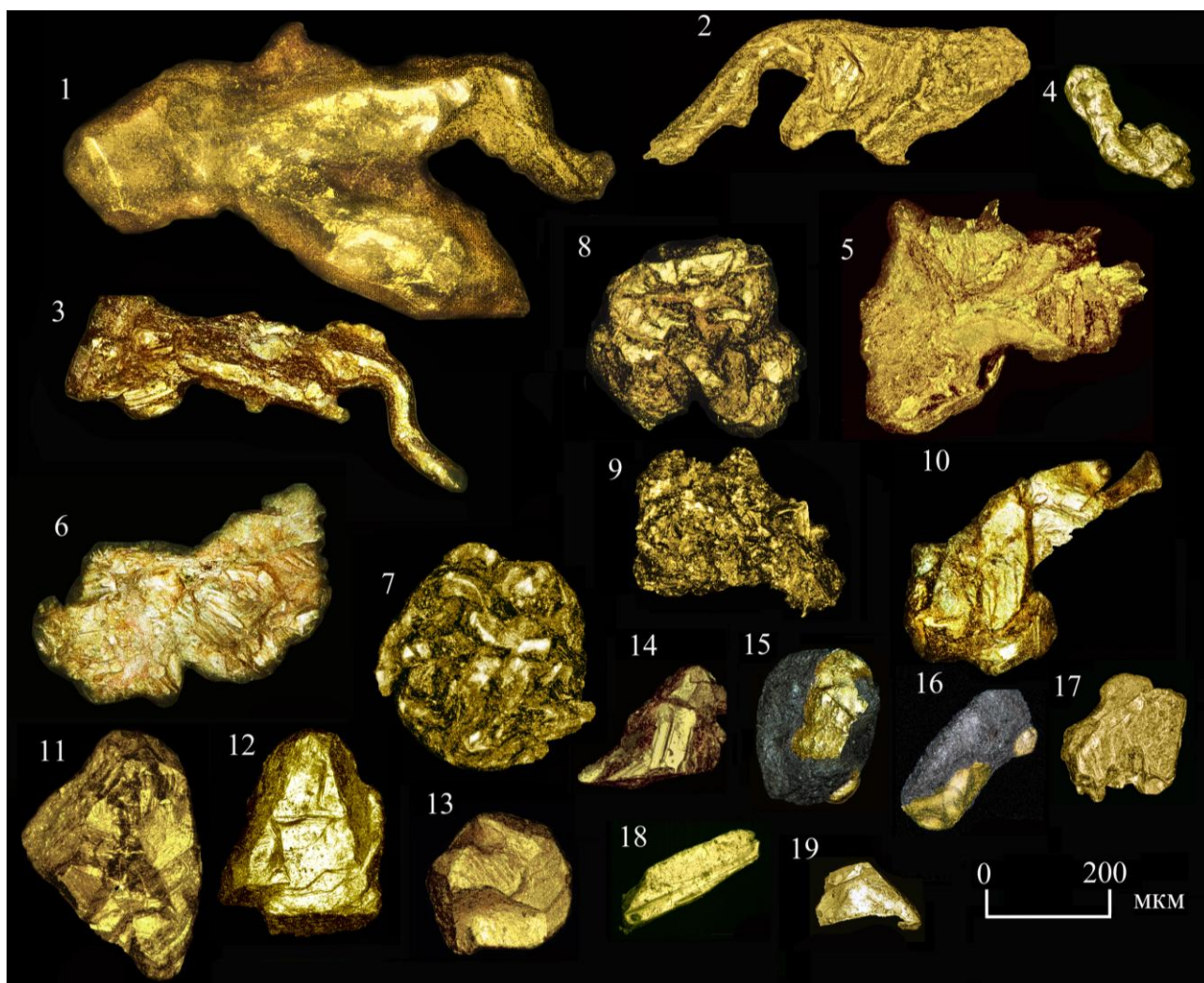


Рисунок 3 – Частицы самородного золота из золото-скарновой руды Нижнего участка Зыгыркольской зоны

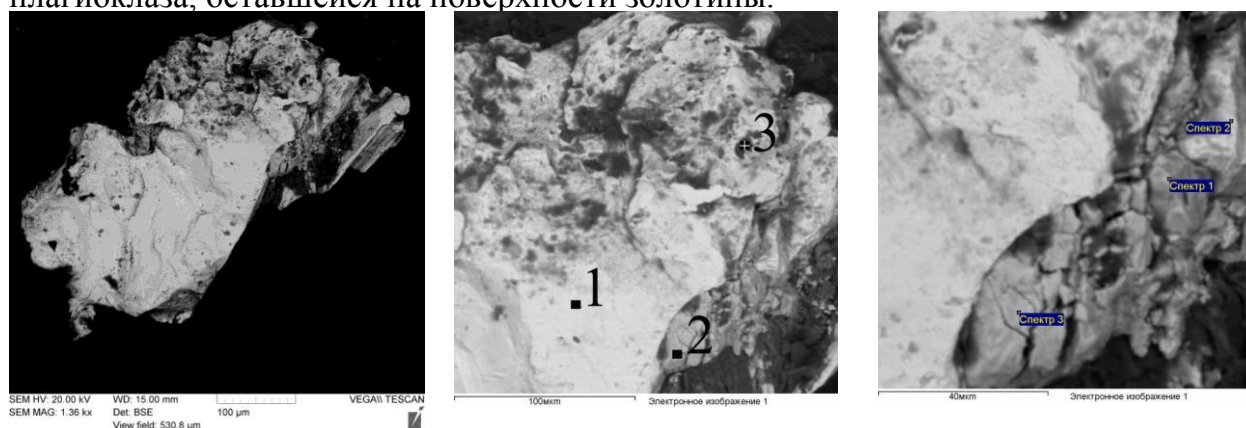
слабо деформированных агрегатах силикатных минералов; 7, 8, 9 и 11 – комковидные частицы ячеистого и петельчатого строения, представляющие собой сростки мелких ксеноморфных золотинок, между которыми заключены зерна и обломки вмещающих минералов. Отмечается, что ячеистые и петельчатые комковидные агрегаты представляют одну из характерных для эпитермальных руд морфологическую разновидность выделений золота.

К интерстициальному виду отнесены частицы 10, 12, 14, 17, 18 и 19 на рис. 3. Все они представляют разновидность неправильных выделений с отпечатками кристаллов других минералов. Главными критериями такого отнесения является слабо уплощенная клиновидная форма и наличие отпечатков вмещающих минералов. Таковыми являются ромбической формы углубления, оставшиеся от граней кристаллов граната (см. 12 и 19 на рис. 3) и ромбоэдрические углубления на поверхности золота от кристаллов карбоната (см. 10 и 14 на рис. 3).

Изучение внутренней структуры минеральных агрегатов и элементного состава осуществлено методами растровой электронной микроскопии и рентгенофлуоресцентного микроанализа в «Центре коллективного пользования» на оборудовании «Центра исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» ЮФУ под руководством к.г.-м.н., доцента Попова Ю.В. Все выделенные частицы были предварительно изучены под электронным микроскопом без очистки и напыления. После этого они были помещены в эпоксидную смолу. Полученный образец отвердевшей смолы с частицами самородного золота пришлифован до проявления золотинок, затем отполирован, очищен ультразвуком и напылен углеродом.

Предварительное изучение неочищенных частиц под электронным

микроскопом подтвердило, что большая их часть представлена самородным золотом, меньшая – самородным висмутом, а также показало наличие загрязнений вмещающими силикатными минералами и органическими веществами. Поэтому результаты микроанализа химических элементов следует рассматривать как весьма приближенные. Так наиболее крупная рудная частица, согласно микроанализу, практически целиком представлена Au. Местами она покрыта силикатами Al-Mn-Ca-Fe состава и имеет небольшие реликты сростков с оксигидратами. На средней по размеру частице самородного золота (рис. 4) удалось обнаружить свободные от примесных пленок участки и определить содержания Au и Ag в ней без каких либо примесей (спектр 1), а также установить, что в сростках с золотом находится самородный висмут (спектр 2). Спектр 3 соответствует, скорее всего, частичке плагиоклаза, оставшейся на поверхности золотины.

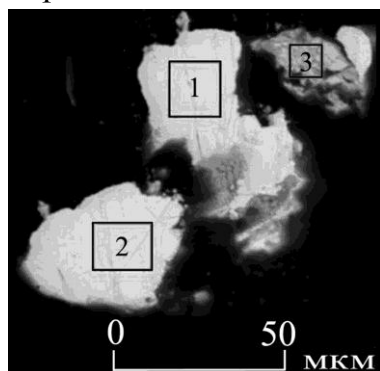


Спектр	C	O	Na	Al	Si	Ca	Fe	Ag	Au	Bi	Итог
1								7,32	92,68		100
2		20,95			1,02	1,00				77,03	100
3	4,41	50,56	8,4	9,77	22,58	1,4	0,37		2,51		100

Рисунок 4 – А-Частица самородного золота комковидно-массивной разновидности цементационного вид (см. 5 на Рисунке 2); Б - Ее увеличенный фрагмент с точками микроанализа, спектры указаны в таблице; В - Увеличенный фрагмент агрегата самородного висмута на контакте с частицей самородного золота

Более детальное исследование агрегата самородного висмута (рис. 4 В) показало, что он также содержит налипшие остатки силикатных минералов и органических веществ, что не позволяет получить 100-процентное содержание висмута по результатам микрозондирования (спектры 1 и 3). То же самое касается и самородного золота (спектр 2).

Дальнейшее электронномикроскопическое исследование золотин осуществлено в напыленном графитом полированном срезе искусственного аншлифа с девятью частицами самородного золота и двумя частицами самородного висмута. В результате определен химический состав самородного золота и самородного висмута (рис. 5).



Спектр	O	Ca	Ag	Te	Au	Bi	Итог
1			5,66	0,15	93,88	0,23	100
2			5,99	0,41	92,93	0,67	100
3	23,12	0,64				76,24	100

Рисунок 5 – А - Частицы 65х40 мкм (1), 45х40 мкм (2) и 15х30 мкм (3)

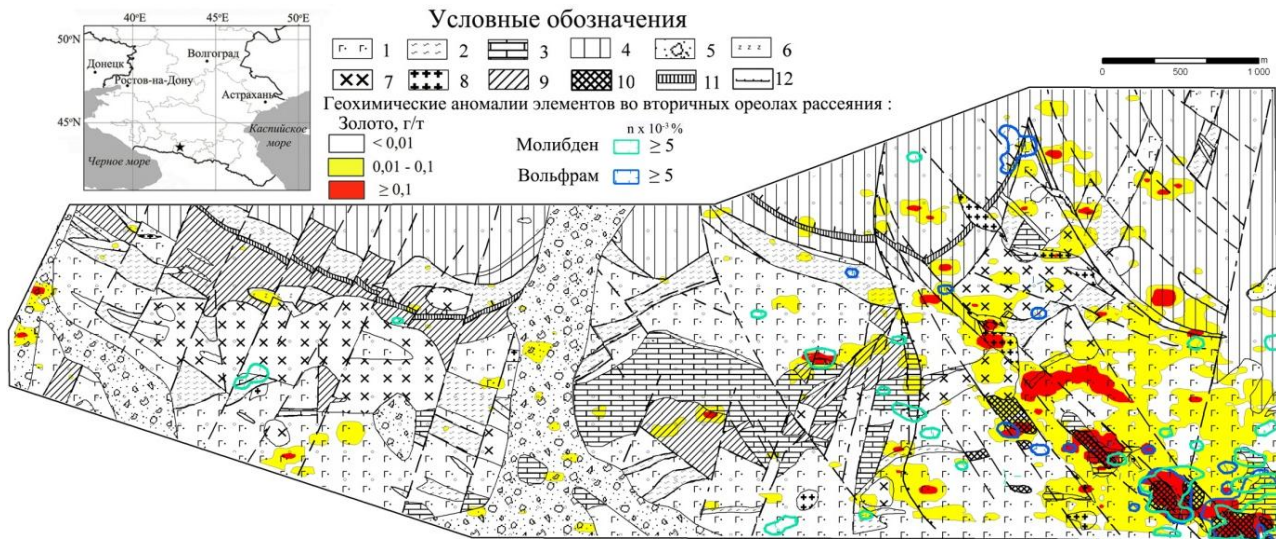
Установленные примеси Те и Вi в самородном золоте является типоморфными для золото-скарновых месторождений (Петровская, 1973; Meinert, 1993; Гамянин, 2001; Gusev, 2013). Остальные химические элементы в самородном золоте отсутствуют или находятся в концентрации, ниже предела обнаружения. Результаты исследования технологической пробы, выполненной в ЦНИГРИ, указывают на присутствие некоторой части золота в скарновых рудах в составе теллуридов. Представляется, что тесная связь самородного золота, висмута и теллуридов золота и висмута в скарновых рудах Зыгыркольской зоны вполне закономерна, так как одним из возможных механизмов совместной миграции этих компонентов связан с относительно низкими температурами плавления многих самородных металлов, в частности Вi, а также соединений золота с Вi и Те (Frost et al., 2002). Возможность переноса таких металлов в виде легкоплавких соединений и низкотемпературных сплавов показана в работе (Tomkins et al., 2007). К этому следует добавить, что заметные примеси Вi и Те в изученном нами самородном золоте также понижают температуру плавления. Так, по данным (Cook et al., 2009), в системе Au-Bi-Te имеется 10 низкотемпературных эвтектик в интервале 234-475°C, совпадающем с температурным интервалом пневматолитово-гидротермального рудообразования.

3. Во вторичных ореолах рассеяния Зыгыркольская рудоносная зона выделяется областью аномальных значений Au, Ag, Вi, Cu, Zn, As, Pb, Sb. Наиболее интенсивные и контрастные геохимические аномалии Au вытянуты в виде цепочки вдоль ее осевой части и связаны с конкретными телами золотоносных скарнов. Установлена геохимическая зональность вторичных ореолов рассеяния внутреннего подтипа конформного типа. Она отражает с одной стороны металлогеническую зональность рудного поля, с другой стороны – уровень эрозионного среза.

Осуществлена статистическая и ГИС обработка результатов площадной геохимической съемки по методике, изложенной в [4, 11]. Получены аномалии рудообразующих элементов во вторичных ореолах рассеяния, которые сопоставлены с результатами геолого-поисковых работ и крупномасштабной геологической съемки [1, 2]. В автореферате приведены результаты только по Au, W и Mo (рис. 6), как представляющие наибольшую ценность Тырныауза.

Аномальные значения перечисленных элементов распространены практически только в восточной половине района, в той ее части, которая представляет собой непосредственно Северный фланг Тырныаузского рудного поля. Следует отметить, что количество проб с аномальными значениями Au (369) заметно превышает количество проб с аномальными значениями Mo (257) и W (211). Соответствующим образом соотносятся и площади аномалий вторичных ореолов. Повышенные содержания W и Mo ограничены площадями выходов скарнов в пределах Зыгыркольской рудоносной зоны, а их аномальные значения отмечаются только в пределах Нижнего скарна. Аномалии же Au образуют практически сплошной ореол в юго-восточном углу исследуемой площади, ограниченный с северо-запада экзоконтактной зоной палеозойской интрузии кварцевых диоритов. С исчезновением интрузии в северо-восточном направлении исчезает и геохимический ореол Au.

Наиболее интенсивные аномалии Au совпадают с непосредственными выходами на поверхность скарнов Зыгыркольской зоны и, вместе с ней вытягиваются цепочкой в северо-западном направлении. При этом аномалии Au сохраняют свою интенсивность, а аномалии W и Mo резко сокращаются по площади и исчезают. Очевидно, что эпицентр геохимических аномалий W и Mo располагается к юго-востоку от изучаемой площади, скорее всего в центре Тырныаузского месторождения. Аномалии Au, наоборот, сохраняют свою интенсивность и размеры на протяжении всей Зыгыркольской зоны и отмечаются не только в связи со скарнами, но и с альпийскими интрузиями лейкократовых гранитов, в которых отмечаются золотоносные кварцевые прожилки и сульфидные гнезда.



1–5 – стратифицированные геологические комплексы: 1 – осадочно-вулканогенный (D_2), 2 – морской терригенный (D_3), 3 – карбонатный (D_3-C_1), 4 – континентальный обломочный (C_{2-3}), 5 – горно-ледниковых отложений (Q_{3-4}); 6–8 – интрузивные комплексы: 6 – уллу-таллыкольский гипербазитовый (PZ_3), 7 – чучкурский диорит-гранодиорит-порфировый (P-T), 8 – тырныаузский лейкократово-гранитовый (N); 9 – кварц-карбонатные метасоматиты, 10 – скарны, 11 – лиственитизированные милониты; 12 – разрывные нарушения

Рисунок 6 – Сопоставление аномалий Au, Mo и W во вторичных ореолах рассеяния с картой геологического строения Северного фланга Тырныаузского рудного поля

Небольшие вторичные ореолы Au фиксируются к северу от тела палеозойских кварцевых диоритов в пределах площади развития средне-верхнекаменноугольных пород молассового комплекса с проявлениями кварц-антимонитовых жил окрестностей Малотырныаузского Pb-Sb месторождения. Площадь этих аномалий незначительная и на первый взгляд не представляет практического интереса. Однако выявленная нами зональность геохимических аномалий по отношению к уровню эрозионного среза золотоносных структур (Таблица 3) может указывать на возможное наличие золотого оруденения на некоторой глубине, ниже современного денудационного среза.

Таблица 3 – Схема проявления аномалий химических элементов во вторичных ореолах рассеяния (+) в пределах Зыгыркольской рудоносной зоны. Цветом показаны коэффициенты корреляции элементов с золотом по всему массиву данных (7120 проб): красный – 0,55; желтый – 0,37-0,45; зеленым – 0,22-0,25; серым – 0,12-0,13.

Золотоносный участок	Sb	As	Pb	Zn	Au	Ag	Cu	Sn	W	Mo	Bi	Mn	Абс. отметки рельефа, м	
													min	max
Перевальный	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3100	3200
Верхний	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2900	3100
Средний	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2700	2900
Нижний	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2500	2700

Таким образом, данная таблица в совокупности с комплектом монометаллических карт позволяет получить представление о геохимической зональности Северного фланга Тырныаузского рудного поля. В соответствии с классификацией А.А. Головина (2006) ее можно отнести к внутреннему подтипу конформного типа. Выявленная зональность отражает с одной стороны металлогеническую зональность рудного поля, с другой стороны – уровень эрозионного среза рудоносной структуры.

Очевидно, что участки одиночных аномалий сурьмы указывают на минимальный эрозионный срез золотоносной структуры, а участки развития только аномалий марганца указывают на максимальный ее срез. Для более точной оценки уровня среза золотоносных структур обычно используются отношения групп индикаторных элементов, отражающих минимальный и максимальный срез (Чекваидзе, Милев, Исакович, 2009; Ворошилов, 2009). Используя, например,

индикаторное отношения $Ag\cdot Pb\cdot Sb/W\cdot Co\cdot Mo$, мы подтвердили надрудный уровень среза для аномалий над не выходящим на поверхность Перевальным скарном (605), верхнерудный срез для участка Среднего скарна (0,21) и среднерудный – для Нижнего скарна (0,01), что соответствует геологическим данным и результатам поисковых работ.

4. На основе построения прогнозно-поисковой модели выявлен комплекс критериев и признаков золото-скарнового оруденения Тырныаузского рудного поля. Все они (магматические, контактово-метаморфические, гидротермально-метасоматические, структурные) обусловлены развитием альпийского магматического комплекса. Новыми для рудного поля поисковыми признаками золотого оруденения являются локальные магнитные аномалии, отвечающие телам скарнов, и геохимические аномалии золота и сопутствующих элементов, отвечающие участкам золотоносных минерализаций в скарнах. На основе сочетания этих и других признаков оценены перспективы выявления новых золоторудных объектов.

Все выявленные в предыдущих главах особенности вещественного состава золотых руд Зыгыркольской зоны и геологических условий их локализации сведены в двух верхних блоках Таблицы 4, представляющей прогнозно-поисковую модель [6].

Принципиально новым в этой модели является представление о вещественном составе объекта прогноза и поисков. Впервые конкретизированы формационный и геолого-промышленный типы предполагаемого месторождения как близповерхностный золото-скарновый. Новым является и определение формационного и геохимического типа руд как убогосульфидной золотой.

В предыдущей модели объектом поисков предполагались участки сульфидной и кварцево-прожилковой минерализации, с которыми связывалось золотое оруденение. Новая модель расширяет перспективы обнаружения золотого оруденения Тырныаузского рудного поля за счет включения в объекты поисков многочисленных участков скарнов без признаков сульфидной и прожилково-кварцевой минерализации.

В качестве главной поисковой предпосылки обоснована связь золотого оруденения с Тырныаузским гранитовым магматическим комплексом альпийского возраста. Ранее допускалась возможность связи золотого оруденения с позднегерцинскими кварцевыми диоритами чучкурского комплекса (Гурбанов и др., 1992; Ящинин, 2008). Как показал анализ распределения содержаний золота во вторичных ореолах рассеяния [1], аномальные их значения распространены только в восточной половине исследуемого района, в той ее части, которая относится к Северному флангу Тырныаузского рудного поля (см. рис. 6). В западной половине исследованной площади геохимические аномалии золота практически отсутствуют, несмотря на более широкое развитие здесь чучкурских интрузий.

Таким образом, результаты площадной геохимической съемки подтверждают, что золотоносные минерализации Северного фланга Тырныаузского рудного поля сформировались в альпийскую минерагеническую эпоху за счет пневматолитово-гидротермальных растворов, отделяющихся в ходе кристаллизации кислой магмы при становлении Тырныаузского интрузивного комплекса. Все другие поисковые предпосылки (магматические, метаморфические и структурные) также связаны с развитием и становлением Тырныаузского интрузивного комплекса.

Среди предлагаемых в модели четырех групп поисковых признаков, две из них можно отнести к признакам, прямо указывающим на наличие золотых руд (минералогические и геохимические). Из них геохимические признаки впервые обоснованы для Северного фланга Тырныаузского рудного поля. Две другие группы (гидротермально-метасоматические и геофизические) можно отнести к косвенным поисковым признакам, поскольку скарны и другие гидротермально-метасоматические образования не всегда являются золотоносными. Важным в модели является

Таблица 4 – Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения Тырныаузского рудного поля

Характеристика объекта и его пространственное положение	
Геотектоническая позиция	Область сопряжения СФЗ Передового хребта общекавказского простираия с поперечным Транскавказским поднятием
Металлогеническая позиция	Сопряжение широтной герцинской металлогенической зоны Передового хребта и меридианальной альпийской Центрально-Кавказской металлогенической зоны
Минимальное среднее содержание золота в рудных телах при бортовом 0,5 г/т	2,13 г/т
Минеральный состав руд (по возрастанию)	Золото, марказит, пирит, арсенопирит, кварц, кальцит, пироксены, гранаты андрадит-гроссулярового ряда
Минерально-морфологический тип руд	Убогосульфидный (сульфидов < 1 %), вкрапленный и прожилково-вкрапленный со свободным (амальгамируемым) золотом
Формационный тип руд	Убогосульфидный
Геохимический тип руд	Золотой (Au/Ag>1)
Геохимический подтип руд	Золото-висмута-теллуристый
Формационный тип месторождения	Малых глубин (близповерхностный)
Геолого-промышленный тип месторождения	Золото-скарновый
Поисковые предпосылки	
Формационные	Альпийский гранитовый Тырныаузский магматический комплекс.
Магматические	Ареалы альпийских даек и мелких штоков аплитовидных и лейкократовых гранитов
Метаморфические	Масштабные проявления контактово-термального и контактово-метасоматического метаморфизма
Структурные	Крутые зоны дробления и трещиноватости северо-западного простираия и оперяющие их пологие нарушения; контакты карбонатных и силикатных пород
Поисковые признаки	
Гидротермально-метасоматические	Апороговиковые скарны пироксен-гранатовые, гранатовые, пироксеновые; хлорит-кварцево-плагиоклаз-кальцитовые метасоматиты и зоны карбонатизации и окварцевания
Минералогические	Наличие самородного золота, самородного висмута и теллуридов золота и висмута
Геохимические	Контрастные ореолы Au, Ag, Bi, Cu, Zn, As, Pb, Sb, отвечающие зонам метасоматитов и гидротермально переработанных пород
Геофизические	Локальные магнитные аномалии, отвечающие телам скарнов

обоснование нового для Тырныаузского рудного поля геофизического признака.

Выполненные нами замеры магнитной восприимчивости в коренном залегании показали, что все скарны, в том числе золотоносные, обладают относительно высокими ее значениями, что позволяет надежно выделять их по результатам магнитной съемки [5, 7]. Высокой магнитной восприимчивостью, соизмеримой с таковой для рудоносных скарнов, обладают также скарнированные туфы и серпентиниты. Последние легко отбраковываются по геохимическим данным [10]. Отображение скарнов в электрических полях (кажущееся сопротивление и поляризуемость) по результатам крупномасштабной электроразведки нами не установлено [8]. Полученная стандартным путем карта изолиний магнитного поля

отражает многопорядковые аномалии, включающие региональную и локальную составляющие, что затрудняет их геологическую интерпретацию. По разработанной нами методике получены карты региональных и локальных аномалий магнитного поля. Наиболее интересная в поисковой отношении карта локальных аномалий магнитного поля, совмещенная с геологической картой исследованной площади. Она отражают неоднородности вблизи дневной поверхности внутри крупных геологических структур, уже выделенных при низкочастотном сглаживания магнитного поля, в том числе связанные с оруденением. В целом, локальными аномалиями магнитного поля отмечаются практически все выходящие и не выходящие на поверхность скарны, в том числе золотоносные.

Таким образом, выявленная высокая магнитная восприимчивость рудоносных скарнов является их важным поисковым признаком, позволяющим в условиях плохой обнаженности, свойственной Тырныаузскому рудному полю, оценить перспективы выявления новых потенциально рудных объектов.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. По результатам проведенных в 2010-2014 г.г. геолого-поисковых и тематических работ, при участии автора, на Северном фланге Тырныаузского рудного поля впервые выделены четыре промышленно золотоносных участка, совпадающие с площадями развития скарновых тел (Нижний, Средний, Верхний и Перевальный). Они приурочены к Зыгыркольской тектонической зоне дробления и повышенной трещиноватости, простирающейся в северо-западном направлении более чем на 2 км, при ширине от 200 до 500 м, и включающей альпийские дайки лейкократовых и аплитовидных гранитов.
2. Зыгыркольская зона в структурном отношении представляет собой приразломную складку северо-западного простирания, в ядре которой обнажаются мраморизованные известняки, а на крыльях вулканогенные породы с прослоями филлитовидных сланцев. Осевая поверхность складки превращена в тектоническую зону дробления и имеет взбросо-сдвиговую природу. Она заложена в позднем палеозое, и претерпела альпийскую тектоно-магматическую активизацию. В северо-западном направлении ось складки, совпадающая с рудоносной Зыгыркольской зоной, испытывает восстание под углом около 10° , в то время как рельеф в этом же направлении воздымается под углом 20° , т.е., относительно рельефа ось рудоконтролирующей структуры испытывает погружение, что является предпосылкой обнаружения не вскрытых денудацией золотоносных скарновых тел.
3. Промышленное золотое оруденение локализуется в пироксен-гранатовых, пироксеновых и гранатовых скарнах, образовавшихся по испытавшим тектоническое дробление роговикам и (или) ороговикованным андезитам и их туфам, развитым в пределах Зыгыркольской зоны. Для неё, в отличие от остальной части Тырныаузского рудного поля, выделяется стадия дробления и гидротермальной переработки скарновых тел, что привело к формированию таких характерных разновидностей пород, как красно-бурые гранатые скарны, крупнокристаллические геденбергитовые скарны с ильваитом, эпидотовые апоскарновые метасоматиты. Перечисленные образования в указанной последовательности отражают зональность гидротермально-метасоматических преобразований с продвижением фронта в северо-западном направлении.
4. Свойственная всей восточной части структурно-формационной зоны Передового хребта карбонатизация не имеет прямого отношения к золотому оруденению, хотя и проявилась в пределах Зыгыркольской зоны с максимальной интенсивностью в форме многочисленных макровыделений белого кальцита в количестве, достигающем иногда до 70 % объема скарновых тел. В скарнах отмечается стильпномелан, который является наиболее поздним минералом гипогенного преобразования и, судя по литературным данным в некоторых регионах России является индикатором

(минералогическим признаком) благоприятных для золотого оруденения термодинамических условий.

5. Установлено, по минералогическим, химико-аналитическим данным, а также по результатам изучения технологической пробы, что основное богатство скарновых руд Зыгыркольской зоны определяется частицами самородного золота мелких классов. При этом микроскопическое золото ($<0,1\text{ мм}$) составляет около 60 %, а видимое (0,1–1,0 мм) около 40 %. В сульфидах заключено не более 5 % золота.

6. Главными условиями локализации золотого оруденения Северного фланга Тырныаузского рудного поля являются интенсивная тектоническая проработка, фиксируемая развитием широкой сети разноориентированных разрывных нарушений, и обязательным наличие разломов сколового типа северо-западного простирания; наличие пироксен-гранатовых скарнов; наличие альпийских малых интрузий лейкократовых и аплитовидных гранитов; оптимальный эрозионный срез.

7. По результатам проведенных исследований разработана прогнозно-поисковая модель золотого оруденения Тырныаузского рудного поля, в которой геолого-промышленный тип модельного объекта обоснован как золото-скарновый с убогосульфидным минеральным типом руд со свободным золотом, относящийся к близповерхностному формационному типу. Геохимический тип руд определен как золотой ($\text{Au/Ag} > 1$) и отнесен к золото-висмута-теллуровому подтипу.

8. В качестве основных поисковых предпосылок предложены формационные (альпийский гранитовый Тырныаузский магматический комплекс), магматические (ареалы альпийских даек и мелких штоков аплитовидных и лейкократовых гранитов), метаморфические (масштабные контактово-термальные и контактово-метасоматические проявления), структурные (крутые зоны дробления и трещиноватости северо-западного простирания и оперяющие их нарушения, контакты карбонатных и силикатных пород).

9. В качестве главных поисковых признаков обоснованы гидротермально-метасоматические (скарны пироксен-гранатовые, гранатовые, пироксеновые), минералогические (наличие самородного золота, самородного висмута и теллуридов), геохимические (контрастные ореолы Au, Ag, Bi, Cu, Zn, As, Pb, Sb, отвечающие зонам метасоматитов и гидротермально переработанных пород), геофизические (локальные магнитные аномалии, отвечающие телам скарнов).

10. В соответствии с установленными поисковыми критериями и признаками рекомендуется усилить поисковое бурение в пределах Верхнего и Перевального участков Зыгыркольской зоны, а также в областях проявления локальных аномалий магнитного поля, расположенных северо-восточнее этой зоны, включая «Рудную зону 69». Заслуживают внимания группа небольших аномалий магнитного поля в районе развития рудопроявлений сурьмы (северная часть поисковых профилей 68, 69, 70, 71) и группа аномалий в средней части профилей 77, 78, 79, 80, 81) у восточной границы изученной площади и далее на восток за ее пределы, а также аномалия в районе южного начала профилей 57, 58, 59, 60.

11. В пределах изученной на золото территории Северного фланга Тырныаузского рудного поля впервые установлены прямые признаки платиноносности [16], что резко увеличивает ее инвестиционную привлекательность. Самородная платина обнаружена нами севернее золотоносной Зыгыркольской зоны в ассоциации с хромшпинелидами при изучении аншлифов серпентинитов. Субпромышленные содержания Pt и Pd (до 0,3 %) установлены по результатам пробирного с ICP окончанием анализа [4] этих пород. Они отражаются в геохимических аномалиях этих элементов во вторичных ореолах рассеяния и располагаются в пределах локальных аномалий магнитного поля. Для оценки перспектив платиноносности указанного участка рекомендуется проанализировать на Pt и Pd дубликаты всех металлометрических проб.

Список работ, в которых опубликованы основные положения диссертации

Статьи в журналах из Перечня ВАК РФ

1. Парада, С. Г. О связи золотого оруденения северного фланга Тырныаузского месторождения с интрузивными комплексами (Кабардино–Балкарская республика) / С. Г. Парада, **В. В. Столяров** // ДАН. – 2012. – Т.445, № 4. – С. 437 – 440.
2. Парада, С. Г. О роли палеозойских интрузий в локализации золотоносных минерализаций на северном фланге Тырныаузского рудного поля / С. Г. Парада, **В. В. Столяров** // Вестник Южного научного центра РАН. – 2012. – Т.8, №2. – С.33 – 41.
3. Маркин, М. Ю. Геологические условия локализации золотого оруденения северного фланга Тырныаузского рудного поля / М. Ю. Маркин, **В. В. Столяров**, И. Ю. Шишкалов // Вестник Южного научного центра РАН. – 2014. – Т.10, № 2. – С.44–51.
4. Парада, С. Г. Первые химико–аналитические данные о платиноносности Беденского серпентинитового массива (Карачаево–Черкесская Республика) / С. Г. Парада, М. Ю. Маркин, **В. В. Столяров**, И.Ю. Шишкалов // ДАН.–2014.–Т.454, № 5.– С. 567–569.
5. Тарасов, В. А. Геофизические методы при поисках золоторудной минерализации на флангах Тырныаузского рудного узла / В. А. Тарасов, М. С. Емкужев, С. Г. Парада, **В. В. Столяров** // Вестник Воронежского государственного университета, серия Геология. – 2015. – № 1. – С. 109–117.
6. **Столяров, В. В.** Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения в скарнах Северного фланга Тырныаузского рудного поля (Кабардино–Балкарская республика) / В. В. Столяров // Руды и металлы. – 2015. – № 3. – С. 25 – 37.

Публикации в прочих изданиях:

7. Емкужев, А. С. Опыт применения крупномасштабной магнитной съемки при поисках золотого оруденения в Восточной части Передового хребта (Кабардино–Балкарская республика) / А. С. Емкужев, С. Г. Парада, **В. В. Столяров**, В. А. Тарасов // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 3. С.3 – 19.
8. **Столяров, В. В.** Выявление вещественно–структурных неоднородностей на северном фланге Тырныаузского рудного поля методом вызванной поляризации / В. В. Столяров, В. А. Тарасов // Молодой ученый. – 2013. – № 2. – С. 101 – 105.
9. **Столяров, В. В.** Стадийность минералообразования в золотосульфидных рудах северного фланга Тырныаузского рудного поля (Кабардино–Балкарская республика) / В. В. Столяров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – №2. – С. 30 – 33.
10. Парада, С. Г. Проявление потенциально платиноносных гипербазитов в геохимических аномалиях Ni, Cr и Co на примере восточной части Передового хребта (Кабардино–Балкарская республика) / С. Г. Парада, М. Ю. Маркин, **В.В. Столяров**, И. Ю. Шишкалов // Геология и геофизика Юга России. – 2014 – № 2. – С. 42–54.
11. Парада, С. Г. Целевое минерагеническое прогнозирование рудоносности геологических комплексов на основе новых химико–аналитических данных / С. Г. Парада, М. Ю. Маркин, Ю. В. Холод, И. Ю. Шишкалов, **В. В. Столяров** // Материалы IX Международной научно–практической конференции «Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования». 20 декабря 2010 г. / Новочеркасск: ЮРГТУ. – 2011.– С. 4 – 9.
12. **Столяров, В. В.** Крупность золота в рудоносных скарнах восточной части Передового хребта по данным фракционного скрин–анализа / В. В. Столяров // Сборник тезисов и статей Всероссийской молодежной конференции «Минералы: строение, свойства, методы исследования». 9–10 сентября 2012г. / Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ) .– 2012. – С. 118 – 121.
13. Парада, С. Г. Геолого–структурные особенности локализации золотого оруденения восточной части Передового хребта / С. Г. Парада, **В. В. Столяров** // Материалы II Всероссийской научно–технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». 7–10 ноября 2012 г. – Грозный, 2012. – С. 211 – 216.
14. **Столяров, В. В.** Новые данные о геологическом строении и золотоносности северного фланга Тырныаузского рудного поля / В. В. Столяров // Материалы III Международной научно–практической конференции молодых ученых и специалистов

памяти академика А.П. Карпинского, 11–15 февраля 2013г./ Санкт–Петербург: ФГУП «ВСЕГЕИ».– 2013.– С. 285 – 288.

15. **Столяров, В. В.** Последовательность минералообразования в золотосульфидных рудах северного фланга Тырныаузского рудного поля / В. В. Столяров // Сборник трудов I международной Интернет–конференции «Современное состояние минералогии». 5 февраля 2013г. / Казань: Казанский университет. – 2013.– С. 36 – 41.

16. Парада, С. Г. Минералогические и геохимические признаки платиноносности северного фланга Тырныаузского W – Мо месторождения (Кабардино–Балкарская республика) / С. Г. Парада, **В. В. Столяров** // Материалы X Всероссийской Ферсмановской научной сессии «Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона». 8–9 апреля 2013 г. / Апатиты.– 2013.– С. 169 – 172.

17. **Столяров, В. В.** Размеры и морфология частиц самородного золота из скарнов Северного фланга Тырныаузского рудного поля (Кабардино–Балкарская республика) / В. В. Столяров // Тезисы докладов X ежегодной научной конференции студентов и аспирантов базовых кафедр ЮНЦ РАН. 14 – 29 апреля 2014 г. / Ростов–на–Дону: ЮНЦ РАН. – 2014. – С. 35 – 36.

18. **Столяров, В. В.** Возможности исследования морфологии и морфометрии частиц самородного золота мелких классов методом лазерной конфокальной сканирующей микроскопии / В. В. Столяров, С. Г. Парада // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», 31 марта – 2 апреля 2015 г. – Якутск. – 2015. – С. 468 – 471.