

На правах рукописи



Ивин Виталий Викторович

**МИНЕРАЛЬНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И
ЗОНАЛЬНОСТЬ ПОЛИМЕТАЛЛЬНО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ
НИЖНЕ-ТАЕЖНОГО УЗЛА (СЕВЕРНОЕ ПРИМОРЬЕ)**

**Специальность 25.00.11 – геология, поиск и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток – 2013

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения РАН

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор
Хомич Вадим Георгиевич

Официальные оппоненты: член-корреспондент РАН, профессор
Горячев Николай Анатольевич
(СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан)

кандидат геолого-минералогических наук, профессор
Зиньков Александр Васильевич
(ДВФУ, г. Владивосток)

Ведущая организация: ОАО «Приморгеология» г. Владивосток

Защита диссертации состоится «21» ноября 2013 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 005.006.01 в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, проспект. 100 лет Владивостоку, д. 159.

Тел.: (4232) 318-750
Факс: (4232)317-847
E-mail: office@fegi.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ДВО РАН.

Автореферат разослан «20» октября 2013

Ученый секретарь
диссертационного совета,

кандидат геолого-минералогических наук



Б.И. Семеняк

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Современными исследованиями подтверждена широкая распространенность сереброносного оруденения в окраинно-континентальных вулcano-плутонических поясах Тихого океана. К их числу принадлежит и Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс (ВСАВП). В пределах последнего в интервале, превышающем более 1000 км, выявлено значительное число проявлений Ag в Фурмановском, Дальнегорском и Самаргинском рудных районах Приморья. Вместе с тем, в границах ВСАВП пока не обнаружено достаточно крупных месторождений серебра, что сдерживает решение проблемы наращивания его минерально-сырьевой базы. Определенным исключением в этом отношении является Нижне-Таежный рудный узел (НТРУ) с сереброносным многометалльным оруденением, выявленный в конце XX века в Самаргинском районе. Поэтому изучение геологического строения узла, вещественного состава жильно-метасоматических зон, закономерностей их размещения и глубинности развития представляются весьма актуальными и с научной, и с практической точек зрения. Одна из первейших задач, которую надлежит решить в рамках обозначенной проблемы – минерально-геохимическая типизация оруденения. Традиционно ее решение связано с минералогическим картированием. Однако на мало- и убогосульфидных объектах такое картирование недостаточно эффективно. Более приемлемым представляется комплексирование методов, основанных на изучении вещественного состава рудных тел и данных геохимического опробования. Результаты такого комплексного исследования могут быть использованы для построения модели формирования узла, а также для более объективной оценки масштабов проявленного в НТРУ оруденения и перспективности других проявлений серебра на сопредельных площадях.

Цель и задачи исследований. Главная цель работы – минерально-геохимическая типизация полиметалльно-серебряного оруденения и выявление закономерностей его размещения на площади НТРУ. Для достижения обозначенной цели потребовалось решить следующие задачи:

- 1) изучить вещественный состав рудных зон узла;
- 2) провести минерально-геохимическую типизацию оруденения и выявить закономерности пространственного размещения разных типов руд;
- 3) оценить продуктивность рудных зон, глубинность распространения минерализации и возможный ресурсный потенциал узла.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положены результаты полевых и лабораторных исследований, проведенных автором в 2003-2012 гг. Для характеристики объекта были отобраны в полевых условиях образцы из рудно-метасоматических зон и магматических образований – всего более 500. Петрографические и минералогические исследования проводились с помощью поляризационного микроскопа в проходящем и отраженном свете. Изучено 70 шлифов, 290 аншлифов, 40 проб-протолок. На рентгеноспектральном микроанализаторе JXA 8100 выполнено около 250 анализов. Рентгенофлуоресцентной (на сканирующем спектрометре S4 Pioneer, Bruker AXS, Германия) и масс-спектрометрией (с

индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7500, Agilent Technologies, США) исследованы магматические породы (45 обр.) на петрогенные и редкоземельные элементы. Изотопно-геохронологические исследования (10 проб) выполнены в лабораториях петрологии и изотопной геохронологии СВКНИИ ДВО РАН (г. Магадан), ИГЕМ РАН (г. Москва). Для изучения закономерностей размещения рудных элементов и оценки масштабов оруденения использованы результаты анализов бороздовых и геохимических проб (1181 шт.), выполненные сотрудниками объединения «Приморгеология». По специально разработанной компьютерной программе (Matlab) обработано более 5000 спектральных, спектрозолотометрических, пробирно-активационных, атомно-абсорбционных и химических анализов. При построении диаграмм и гистограмм использованы компьютерные программы: Word, Excel, Statistica, Surfer и CorelDRAW.

Научная новизна. Впервые на основе проведенных комплексных исследований жильно-метасоматических зон узла выделено три минерально-геохимических типа оруденения. Получены доказательства зонального их размещения в пределах разных участков. Установлена парагенетическая связь полиметалльного оруденения с долгоживущей рудно-магматической системой палеоцен-эоценового возраста. Выявлены признаки ярусности в размещении оруденения.

Защищаемые положения.

1) Многометалльное оруденение Нижне-Таежного узла представлено олово-медь-цинк-свинец-серебряным (Sn-Cu-Zn-Pb-Ag), цинк-свинец-серебряным (Zn-Pb-Ag) и серебряным (Ag) геохимическими типами. Первый соответствует касситерит-халькопирит-сфалерит-галенит-акантитовому, второй – сфалерит-галенит-акантитовому, третий – акантит-пираргирит-полибазитовому минеральным типам.

2) Структурно-магматический контроль минерализации свидетельствует о существовании в пределах узла долгоживущей рудно-магматической системы палеоцен-эоценового возраста. В размещении оруденения от магматического центра и его сателлитов к периферии прослеживается зональность в размещении оруденения, выраженная в последовательной смене олово-медь-цинк-свинец-серебряной, цинк-свинец-серебряной и серебряной минерализацией.

3) Выявленные признаки зональности, а также ярусности в размещении рудной минерализации позволяют положительно оценить ресурсный потенциал НТРУ. При сравнении узла с известными крупными полиметалльными месторождениями Тихоокеанского рудного пояса (Гуанохуато, Мексика; Дукат, Россия; объекты Дальнегорского района в Приморье и др.) обнаруживается их сопоставимость по многим геологическим и минералого-геохимическим характеристикам.

Практическая значимость. Полученные данные по основным закономерностям локализации полиметалльного оруденения НТРУ дают возможность объективнее оценить его перспективы. Проведенная минерально-геохимическая типизация оруденения и полученные доказательства зонального

размещения разных типов руд позволят целенаправленнее вести геологоразведочные работы на флангах и глубоких горизонтах всех участков узла.

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 17 работ, 3 из них в изданиях, входящих в перечень ВАК. Результаты исследований докладывались на международном симпозиуме по геологической и минерагенической корреляции в сопредельных районах России, Китая и Монголии (Чита, 2007), всероссийской конференции с международным участием «Тектоника и металлогения Северной Циркум-Пацифики и Восточной Азии» (Хабаровск, 2007), региональных конференциях молодых ученых «Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России» (Владивосток, 2006, 2008, 2010), всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по физике (Владивосток, 2007), международной конференции «International Young Scholar's Forum of the Asia-Pacific Region Countries» (Vladivostok, 2008), всероссийской научной конференции «Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии» (Благовещенск, 2010), XXIV всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2011), дальневосточной междисциплинарной молодежной конференции «Современные методы научных исследований» (Владивосток, 2011), всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (Владивосток, 2011), всероссийской очно-заочной научно-практической конференции «Социально-экономическое развитие моногородов: традиции и инновации» (Дальнегорск, 2013).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Содержание глав: 1. Краткий очерк истории изучения геологии и металлогении Нижне-Таежного рудного узла; 2. Геологическое строение НТРУ; 3. Особенности геологического строения рудоносных участков; 4. Вещественный состав полиметалльно-серебряного оруденения; 5. Элементный состав минерализации и ее распределение в рудных участках; 6. Типизация оруденения, его зональность и особенности формирования.

Объем диссертации составляет 160 страниц машинописного текста, 39 рисунков, 18 таблиц. Список использованной литературы включает 120 наименований.

Благодарности. Автор выражает свою искреннюю признательность научному руководителю профессору, д.г.-м.н. В.Г. Хомичу и заслуженному геологу РФ А.Н. Родионову за помощь и поддержку при выполнении данной работы.

Автор благодарит – к.г.-м.н. И.И. Фатьянова, к.г.-м.н. Л.Ф. Симаненко, д.г.-м.н. А.Н. Четырбоцкого, к.г.-м.н. А.С. Ваха, к.г.-м.н. А.А. Карабцова, к.г.-м.н. А.В. Гребенникова, д.г.-м.н. В.И. Гвоздева, д.г.-м.н. В.Г. Гоневчука, к.г.-м.н. В.В. Иванова, к.г.-м.н. Б.И. Семеняка, д.г.-м.н. В.Т. Казаченко, д.г.-м.н. О.В. Авченко, к.г.-м.н. В.П. Молчанова, Е.И. Медведева, д.г.-м.н. И.В. Кемкина, к.г.-м.н. Г.А. Челнокова, к.г.-м.н. И.В. Брагина, к.б.н. М.Г. Блохина, д.г.-м.н.

Н.А. Харитонову, к.г.-м.н. Е.А. Вах, к.г.-м.н. Е.В. Михайлика, к.г.-м.н. П.Е. Михайлика, к.г.-м.н. И.А. Александрова, к.г.-м.н. В.К. Попова, к.г.-м.н. П.Л. Неволина, д.г.-м.н. Ю.А. Мартынова, к.г.-м.н. П.Г. Коростелева, к.г.-м.н. О.А. Карась, к.г.-м.н. Ю.А. Степнову, А.А. Орехова, к.г.-м.н. А.Н. Митрохина, к.г.-м.н. С.А. Касаткина чьи советы и рекомендации были учтены при подготовке диссертационной работы.

Автор признателен сотрудникам Аналитического центра ДВО РАН – Г.Б. Молчановой, Н.И. Екимовой, Н.В. Зарубиной, О.В. Дорониной, Н.А. Казановой, А.П. Ляховой за помощь в подготовке и выполнении аналитических исследований.

Особую благодарность автор выражает академику А.И. Ханчуку за всестороннюю помощь при выполнении данной работы.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нижне-Таежный рудный узел (рис. 1) площадью около 500 км² расположен в прибрежной зоне ВСАВП (Вулканические ..., 1984). Первые сведения о признаках рудоносности территории были получены при геологических съемках м-ба 1:200000 в 30-е годы прошлого века (П.С. Бернштейн, Л.И. Красный). Планомерные геологические, геофизические, геохимические исследования района начались в 60-х годах XX века. В конце 70-х годов А.Н. Родионов составил прогнозную карту Самаргинского рудного района на благородные металлы, послужившую основой развертывания в районе поисковых работ, специализированных на Au и Ag. Эти работы, обосновавшие высокую перспективность района, существенно изменили представления о его металлогеническом потенциале и привели к открытию месторождений и проявлений серебра в северном Приморье, в т.ч. на площади НТРУ. Последний характеризуется весьма сложным геологическим строением (Ивин и др, 2006), наличием разноориентированных сквозных разломов, крупных магматических тел, масштабных потоков рассеяния, шлиховых и геохимических ореолов серебра, свинца, цинка, олова, меди, золота (Родионов, 1992).

Геологические образования, участвующие в строении узла, принадлежат двум структурным этажам: нижнему – терригенному, породы которого смяты в крутые складки северо-восточного простирания, и верхнему – вулканогенному, состоящему из стратифицированных эффузивно-пирокластических накоплений приморской (турон-кампан), самаргинской (маастрихт) и богопольской (дат) толщ. Среди сооружений верхнего этажа различают несколько кальдер проседания (Носыревская, Тальниковая, Шандуйская) и вулканокупольных поднятий (Белембинское, Монкинское, Малиновское и др.).

Наиболее крупные интрузивные и субвулканические тела, причисляемые к самаргинскому и богопольскому комплексам (Хомич и др., 2010), выявлены среди ороговикованных пород соответствующих толщ. Интрузивы имеют сложное строение, поскольку образованы породами разных комплексов. Так, наиболее ранние породы крупного Малиновского массива сложены преимущественно диоритоидами.

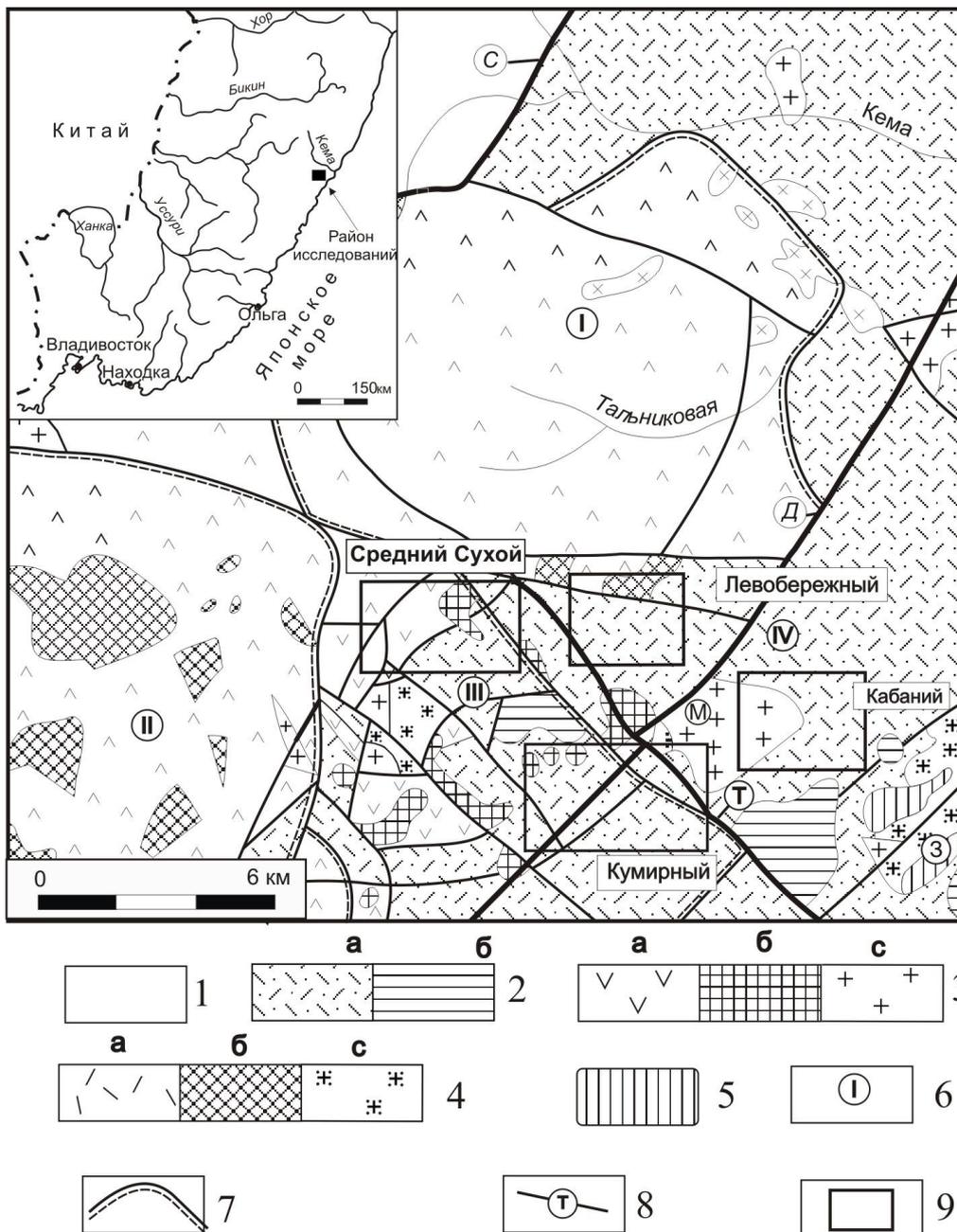


Рис.1 Схематическая геологическая карта НТРУ (по материалам ОАО «Приморгеология»)

Условные обозначения: 1 – раннемеловые терригенные отложения складчатого основания (фундамента) Восточно-Сихотэ-Алинского вулcano-плутонического пояса; 2 – 5 – вулканические и вулcano-плутонические комплексы: 2 - приморский турон-кампанский: а – туфы риолитов с прослоями игнимбритов, туффитов, туфоалевролитов и туфопесчаников; б – экструзии и некки риолитов; 3 – самаргинский ранне-маастрихтский: а – туфы дацитов и риодацитов, в меньшей мере – андезиты, туфы андезитов и риолитов; б – экструзии, некки и дайкообразные тела андезитов и андезидацитов; с – гранитоиды; 4 - богопольский (даний): а – игнимбриты и туфы риолитов; б – экструзии и некки дацитов, в меньшей степени - экструзии андезитов и риолитов; с – гранитоиды; 5 – кизинский (миоценовый) вулканический комплекс (субвулканические тела дацитов и андезидацитов), буквами в кружках обозначены массивы гранитоидов: М – Малиновский, З – Заводской, Б – Березовский; 6 – крупные вулcano-тектонические структуры: I – Тальниковая; II – Шандуйская; III – Носыревская; IV – Монкинское поднятие; 7-8 – разломы: 7 – ограничивающие кальдеры; 8 – прочие, в том числе: Т – Таежный; Д – Дальнегорский; С – Секунжинский; 9 – контуры главных рудоносных участков.

Среди последних преобладают мелко- (редко крупнозернистые) биотит-роговообманковые кварцевые («игольчатые») диориты (64 млн. лет, К-Аг метод).

Биотитовые порфировидные граниты, переходящие в краевых частях массива в гранит-порфиры, принадлежат более молодому комплексу (54-47 млн. лет, К-Аг метод). Субвулканические тела представлены крупнопорфировыми риолитами, иногда переходящими в гранит-порфиры, а также – риолитами, дацитами и андезидацитами.

Более поздние – кизинские (?) – образования представлены экструзивами андезидацитов, сопровождаемыми взрывными брекчиями. Последние состоят из округлых глыб андезитов, туфов риолитов, гранитов и диоритов, сцементированных лавами андезидацитов, либо тонким пепловидным материалом.

Тектоническая позиция НТРУ характеризуется несколькими специфическими особенностями (Ивин и др., 2007). Первой из них является его «пограничное» положение в южной части Кемского террейна, у сопряжения с Таухинским. В строении Кемского террейна участвуют баррем (?) – альбские накопления, среди которых широко распространены турбидиты, присутствуют горизонты вулканогенно-осадочных пород, микститов, а также пласты вулканитов основного состава (Малиновский и др., 2005; Ханчук и др., 1995). Таухинский же террейн сложен перекрывающимися друг друга тектоническими пластинами турбидитов, олистостром с глыбами и олистоплаками палеозойских и раннемезозойских известняков, базальтов, кремней и терригенных пород (Ханчук, 2006).

Вторая особенность НТРУ – редуцированность разрезов вулканических толщ, распространенных в Центральном секторе ВСАВП (Вулканические ..., 1984). Она обусловлена отсутствием в междуречье Серебрянки и Кемы верхнемеловых вулканогенно-осадочных отложений синанчинской и фрагментарностью распространения эффузивно-пирокластических накоплений богопольской свит, а также почти полным отсутствием кузнецовских базальтов и андезибазальтов (Вулканические ..., 1984).

Третья особенность геологической позиции НТРУ – его положение в переходной (пограничной) зоне, разделяющей Центральный сектор ВСАВП на северную (самаргинскую) и южную (серебрянскую) части. Зона характеризуется уменьшенными мощностями вулканических накоплений приморской и самаргинской свит, что свидетельствует о неглубоком залегании терригенного фундамента, в строении которого предполагается присутствие поперечного к генеральному простиранию складчатых структур горстообразного поднятия. Наличие аналогичного поднятия доказано для Дальнегорского рудного района (Юшманов, 2004).

Четвертой особенностью позиции НТРУ является его размещение в наиболее узкой части Центрального сектора ВСАВП, сопоставимой по ширине с той, что зафиксирована в Южном секторе пояса, где находится Дальнегорский рудный район.

Сравнивая НТРУ с Дальнегорским рудным районом, отметим, что отличительной чертой позиции узла является принадлежность его довулканогенного фундамента к Кемскому террейну, образование которого происходило «в обстановке склона задугового бассейна» (Малиновский и др., 2002, 2005), в то время как фундамент Дальнегорского района представлен тектоническими пластинами из турбидитов, олистостром с глыбами и олистоплаками палеозойских и раннемезозойских известняков, базальтов, кремней и терригенных пород Таухинского террейна.

В НТРУ выделено несколько рудоносных полей, называемых в поисковой практике участками: Кумирный, Левобережный, Кабаний, Средний Сухой, а в их пределах – рудные зоны (более 40) преимущественно северо-западной, реже иной, ориентировки с полиметалльно-серебряной минерализацией.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

***Первое защищаемое положение:* многометалльное оруденение Нижне-Таежного узла представлено олово-медь-цинк-свинец-серебряным (Sn-Cu-Zn-Pb-Ag), цинк-свинец-серебряным (Zn-Pb-Ag) и серебряным (Ag) геохимическими типами. Первый соответствует касситерит-халькопирит-сфалерит-галенит-акантитовому, второй – сфалерит-галенит-акантитовому, третий – акантит-пираргирит-полибазитовому минеральным типам.**

Для типизации многометалльного оруденения НТРУ проведено комплексное минералогическое и геохимическое изучение руд (Ивин и др., 2006; Ивин, 2013). Минералогические исследования позволили выделить вещественные ассоциации и обосновать последовательность формирования оруденения. В процессе геохимических исследований использовались результаты полуколичественных спектральных анализов на 15 элементов. Далее для каждого участка строились круговые диаграммы, отражающие процентный «вклад» каждого элемента. Анализ диаграмм позволил выделить главные рудопрфилирующие (количественно преобладающие) элементы для каждой рудной зоны. В результате проведенных минералого-геохимических исследований удалось подразделить оруденения узла на минеральные типы и выделить зоны с преимущественным развитием каждого из них (табл. 1).

Самый многоэлементный (**Sn-Cu-Zn-Pb-Ag**) тип минерализации установлен на Кумирном (рудные зоны Белембинская, Бортовая), Левобережном (зона Дорожная) и Среднем Сухом (зона Осенняя) участках. Мощность зон достигает 10-20 м, протяженность 1,5 км и более. Они состоят из сложноветвящихся крутопадающих кварц-сульфидных жил, сопровождаемых прожилково-вкрапленной минерализацией. Рудные минералы составляют 3-10 % от общей массы жильного вещества. Основным сульфидом является халькопирит, образующий нередко крупные (до 0,5-0,8 м) обособления почти мономинерального состава. В халькопирите установлены микровключения серебряных минералов. Выделено несколько его морфологических разновидностей:

- халькопирит I наблюдается в виде крупных агрегатных скоплений в кварцевом матриксе, в котором он цементирует ранние сульфиды (пирит, арсенопирит, сфалерит и т.д.);

- халькопирит II образует эмульсиевидные микровключения в сфалерите. Размер выделений от 0,002 до 0,1 мм. Форма изометричная, овальная или тонко-пластинчатая (по трещинам спайности);

- халькопирит III встречается в виде редкой вкрапленности в нерудном матриксе. Размер зерен 20-60 микрон.

Таблица 1

Краткая характеристика минерально-геохимических типов оруденения НТРУ

Тип оруденения / Характерные особенности	Sn-Cu-Zn-Pb-Ag Олово-медь-цинк-свинец-серебряный	Zn-Pb-Ag Цинк-свинец-серебряный	Ag Серебряный
Жильно-метасоматические образования рудоносных зон	Кварц-мусковитовые грейзены, карбонат-флюорит-кварцевые жилы (с хлоритом, серицитом), кварц-сульфидные жилы	Кварц-серицит-гидрослюдистые метасоматиты и кварц-мусковитовые грейзены (с гранатом), кварц-сульфидные жилы	Кварц-серицит-гидрослюдистые метасоматиты, сульфидно-кварцевые жилы
Главные рудные минералы	Халькопирит, касситерит, сфалерит, акантит.	Сфалерит, галенит, акантит.	Акантит, пираргирит, полибазит, фрейбергит.
Второстепенные рудные минералы	Галенит, вольфрамит, магнетит, гематит, станин.	Матильдит, гладит, тетрадимит, аргиродит, канфилдит, полибазит, стефанит, пираргирит, фрейбергит, самородные серебро и золото, электрум.	Сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, леллингит, стефанит, канфилдит, самородные золото и серебро, электрум, кюстелит, агвиларит
Содержания рудных элементов (диапазон значений)	Ag=16,05-375 г/т Sn=0,09-1,19 % Pb=0,24-0,29 % Zn=0,84-0,96 % Cu=0,96-4,4 % Au=0,05-0,93 г/т	Ag=19,6-430 г/т Sn=0,003-0,06 % Pb=0,79-6,36 % Zn=0,59-8,55 % Cu=0,092-0,39 % Au=0,01-18 г/т	Ag=17,3-1412,2 г/т Sn=0,003-0,066 % Pb=0,05-0,6 % Zn=0,03-0,2 % Cu=0,02-0,03 % Au=0,05-2,5 г/т
Мощность рудных зон, м	10 - 20	0,5 - 4	3 - 4,3

Другим распространенным минералом кварц-сульфидных жил является сфалерит, образующий совместно с магнетитом и гематитом гнезда и вкрапленность в жильном мусковит-кварцевом агрегате. Реже сфалерит образует мелкие включения в халькопирите и пирите I, содержащие изоморфную примесь индия (до 4.36 мас. %). Роль галенита незначительна.

Минералогической особенностью перечисленных зон является присутствие касситерита. Концентрация Sn в жилах достигает 1 % и более. Проявленный в рудах касситерит образует самостоятельные мономинеральные вкрапления идиоморфных кристалликов (размером до первых десятых долей мм) в жильном матриксе в ассоциации с халькопиритом, магнетитом, сфалеритом и галенитом. Иногда отмечаются кучные скопления более мелких его зерен

вблизи выделений галенита, сфалерита и халькопирита. В рудных зонах других типов касситерит встречается в виде округлых микровключений, находящихся внутри зерен ранних сульфидов: халькопирита, галенита, пирита, арсенопирита, а иногда и в кварцевом матриксе.

Цинк-свинец-серебряный (**Zn-Pb-Ag**) тип оруденения проявлен на всех участках НТРУ. Протяженность рудных зон изменяется от 250 до 900 м, мощность – в диапазоне 0,5-4 м. Приурочены к зонам дробления, геоморфологически нередко проявленным в виде линейных просадок рельефа. Обычно это крутопадающие, часто сложноветвящиеся жилы и минерализованные зоны. Рудные минералы в них составляют 1-5 % от общей массы жильного вещества. Главными рудными минералами являются сфалерит и галенит, реже встречаются пирит, арсенопирит, касситерит, акантит, золото, редко – матильдит, гладит, тетрадимит, канфильдит, аргиродит, стефанит и самородное серебро.

Сфалерит во многих рудных зонах количественно преобладает над галенитом и халькопиритом. Он образует вкрапленность и гнездовидные скопления неправильной формы в кварцевом матриксе. В сростании с галенитом, нередко окаймлен акантитом. Иногда его мелкие включения и прожилковидные выделения наблюдаются в раннем пирите I. Реликтовые включения отмечаются в более поздних минеральных агрегатах – полифазных сростаниях серебряных сульфосолей. Отдельные зерна сфалерита содержат микровключения халькопирита и галенита, реже - сульфосолей серебра. Поскольку сфалерит обладает большой изоморфной емкостью в отношении ряда металлов (Рамдор, 1962), то естественной особенностью химического состава отдельных включений в нем является широкий спектр изоморфных примесей: железа – 6 мас. %, марганца – 0,67 масс. %, меди – 0,23 мас. %, кадмия – 0,82 мас.%, селена – 0,69 мас. %, серебра – 6,41 мас. %.

Галенит обычно отмечается в сростании с другими минералами. В ассоциации со сфалеритом образует в нем ксеноморфные и округлые зерна размером от 0,01 до 1,0 мм, заполняет микротрещинки или обрастает его. Галенит замещается минералами поздней серебро-акантит-сульфосольной ассоциации. В отдельных рудных зонах он почти нацело замещен минералами серебра. Анализ единичных зерен галенита показал наличие в нем изоморфных примесей: висмута – 1,54 мас. %, селена – 0,16 мас. %, меди – 0,15 мас. %, сурьмы – 0,1 мас. %.

Характерна ассоциируемость редкометалльных (Vi) образований с участками грейзенизации, что может указывать на их более раннее возникновение. Висмутовые минералы представлены матильдитом, гладитом и тетрадимитом. Гладит и тетрадимит образуют мелкие включения в кварце зоны Центральной (уч. Левобережный). Из элементов примесей в тетрадимите постоянно присутствует селен до 0,06 мас. %. Матильдит установлен в виде мелких включений неправильной формы в электруме в зоне №2 (уч. Кумирный). Обнаружен он и в сростании с галенитом в зоне Неясной (уч. Кумирный). Как показано П. Рамдором (1962), матильдит представляет собой до некоторой степени лишь пограничное образование, возникшее при низких

(до 225° С) температурах, выше которых взаимная растворимость матильдита и галенита очень велика. Другие исследователи (Shin Dongbok, 2004), рассматривают матильдит как минеральную фазу, кристаллизующуюся близодновременно с галенитом.

Аргиродит выявлен в ассоциации с акантитом и полибазитом, образуя в них вытянутые полосообразные включения. Для него характерна изменчивость состава. В одних случаях он содержит примесь олова, в других оно отсутствует.

Канфилдит установлен в электруме и акантите в виде микровключений неправильной формы. Реже он ассоциирует с фрейбергитом.

Стефанит встречен в ассоциации с акантитом и халькопиритом. Представлен тонкими прожилковидными выделениями в кварце. Реже обнаруживается (совместно с пираргиритом и акантитом) в оторочках, развитых вокруг зерен сульфидов ранних генераций. Элементами-примесями в стефаните являются медь, мышьяк, теллур и селен (зона Кумирная). Другие же зоны характеризуются меньшим разнообразием элементов-примесей в этом минерале.

Самородное золото установлено на уч. Кумирном. Здесь оно ассоциирует с арсенопиритом, реже с сульфосолями серебра и характеризуется довольно большим разнообразием форм выделения. Наиболее распространенные формы - лапчатые или угловатые частицы со сложными ответвлениями, огибающими все выступы кристаллов кварца. Размер золотинок от 0,01 до первых мм. Пробность золота по микрозондовому анализу составила 859 ‰, по атомно-абсорбционному – колеблется от 754 до 967 ‰ (8 анализов) и в среднем составляет 831 ‰.

Самородное серебро в минерализованных зонах распространено крайне неравномерно. Чаще всего оно образует рассеянную вкрапленность мелких зерен в интерстициях и кавернах кварцевого агрегата, реже отмечается в виде скоплений. Преобладающий размер выделений серебра – от 4 до 10 мкм. Более крупные его выделения (до 30 мкм в поперечнике) отмечены в жилах участка Кабаньего. В зоне гипергенеза среди реликтов первичных сульфидов (в матриксе гипергенных минералов) в ассоциации с гидроокислами железа и в пустотах выщелачивания в кварце развито вторичное самородное серебро. Оно характеризуется высокими содержаниями железа.

Серебряный тип выделен на участках Кумирном (зоны Заманчивая, Водораздельная, Кумирная), Среднем Сухом (зоны №82, Сюрприз), Кабаньем (зоны Перевальная, Новая). Мощность перечисленных зон до 3-4 м. Они сложены преимущественно кварц-серицит-гидрослюдистыми метасоматитами, в которых осевые части представлены жилами гребенчатого или среднезернистого полупрозрачного кварца, обрамленных кварцевыми же «полосами», но с гнездами и вкрапленностью рудных минералов. Последние составляют не более 1 % общей массы жильного вещества. Преобладают пирит и арсенопирит, в значительно меньшей степени распространены сфалерит, галенит, халькопирит, оксиды Fe и минералы Ag. Разнообразие минеральных форм серебра – важнейшая особенность вещественного состава таких зон.

Основными минералами Ag являются акантит и большая группа сульфосолей: пираргирит, полибазит, стефанит, фрейбергит и др. Характерна и общая зараженность серебром простых сульфидов, связанная с наличием мельчайших включений серебряных минералов.

Акантит является преобладающим минералом продуктивной ассоциации. Обычно он обрастает или замещает сульфиды более ранних ассоциаций – пирит, арсенопирит, галенит и сфалерит; пронизывает их в виде тонких прожилков или образует в них мелкие микроворстки. Особенно выразительны микротекстуры замещения акантитом ромбовидных зерен арсенопирита, вплоть до образования полных псевдоморфоз. Он образует также неравномерную интерстициальную вкрапленность размером 0,005 – 0,6 мм в поперечнике. Часто он наблюдается в качестве компонента сложных полифазных рудных обособлений в матриксе кварца, тесно ассоциируя с сульфосолями серебра. Характер сростаний акантита с сульфосолями серебра свидетельствует о достаточно длительном периоде его кристаллизации: отмечаются как близсинхронные с пираргиритом и полибазитом выделения акантита, так и более поздние – в виде кайм (нередко с признаками коррозии). Гипергенный акантит образует совместно с гидроокислами железа, скородитом, иногда гипергенным серебром комковатые скопления и корки концентрически-зональной микротекстуры. Примечательно развитие кайм гипергенного акантита вокруг гнездовидных скоплений гидроокислов железа, образовавшихся по пириту. Микротвердость гипергенного акантита варьирует в широких пределах: от 30 до 50 кгс/мм². Вероятно, это объясняется неоднородностью его состава. Содержание микропримесей в акантите непостоянно даже в пределах одной рудной зоны. Так, в зоне Заманчивая (уч. Кумирный) установлены акантиты без примесей (в пределах чувствительности рентгеноспектрального микроанализатора) и акантиты, содержащие в качестве микропримесей медь, селен и висмут. На этом же участке в акантите зоны Водораздельная зафиксирована примесь железа, а зоны Кумирной – медь, селен, сурьма, теллур, кадмий и мышьяк. Микропримеси акантита в зонах участка Кабаний – железо и медь. В акантите тел участка Среднего Сухого установлено заметное содержание теллура – 0,78 мас. %.

Фрейбергит в рудных зонах узла встречается локально. Наиболее широко распространен в зоне Заманчивой (уч. Кумирный), образуя вкрапленность ксеноморфных зерен размером в сотые-десятые доли мм в кварцевом матриксе. Наблюдается в сростаниях с другими сульфосолями серебра. Обнаружен в оторочках, развитых вокруг зерен сульфидов ранних генераций, а также совместно с другими сульфосолями серебра, в виде включений и тонких микропрожилков в агрегатных скоплениях пирита I, галенита, реже сфалерита. Характер сростаний фрейбергита с другими минералами серебра свидетельствует о том, что он является одним из ранних в серебро-акантит-сульфосольной ассоциации, активно замещаясь по периферии пираргиритом и полибазитом. Результат процесса его замещения фиксируется по присутствию в пираргирит-полибазитовых агрегатах лишь мелких реликтовых включений фрейбергита. Особенностью его состава в зоне Заманчивой является высокое

содержание серебра, варьирующее от 28,98 до 31,07 мас. %. Состав изученных фрейбергитов отличается от теоретического небольшим дефицитом серы. Отметим также преобладание сурьмы над мышьяком, железа над цинком. В одном из образцов фрейбергита обнаружены небольшие концентрации свинца и теллура.

Пираргирит, наряду с акантитом, является основным серебряным минералом. В зоне Заманчивой (уч. Кумирный) его кристаллизация происходила вслед за фрейбергитом; в других зонах, где отсутствует фрейбергит, вероятно, именно пираргирит «открывал» процесс массового отложения минералов серебра. Основная масса зерен минерала размером от сотых долей до первых мм приурочена к интерстициям и микротрещинам в кварце, что обусловило характерную форму его выделений. Иногда это мономинеральные зерна нередко с двойниковым строением, но значительно чаще – сростки с полибазитом. Нередко пираргирит отмечается в сложных полиминеральных агрегатах, совместно с реликтовыми выделениями пирита, арсенопирита, галенита, сфалерита, а также фрейбергита, халькопирита, полибазита, стефанита, акантита, электрума. При замещении фрейбергита пираргиритом избытки железа и меди, образующиеся в процессе замещения, частично фиксируются в виде тончайшей вкрапленности халькопирита III в пираргирите. Практически для всех изученных пираргиритов характерна незначительная примесь мышьяка: от 0,34 до 0,9 мас.%. Низкое содержание мышьяка в них еще раз подтвердило выводы О.Е. Свешниковой (1971) об ограниченном изоморфизме между мышьяком и сурьмой в природных пираргиритах. Кроме того, на участке Кабаньем установлена заметная примесь железа. Проанализированное выделение пираргирита представляет собой микропрожилки, замещающий пирит. Вероятно, часть избыточного железа, образовавшегося в процессе замещения пирита, изоморфно заместила серебро. Наиболее широким спектром микропримесей характеризуется пираргирит Кумирного участка. В зоне Заманчивой, кроме мышьяка, в нем обнаружены небольшие содержания меди и селена, а в пираргирите зоны Кумирная – уже повышенные концентрации селена (0,15-0,41 мас.%), железа (3,74 мас.%), цинка (1,55 мас.%). В одном из зерен зафиксирована высокая концентрация золота – 1,89 мас.%.

Полибазит в основном отмечается как минерал, замещающий пираргирит. Реже он образует самостоятельные мономинеральные выделения таблитчатой и интерстициальной формы в существенно кварцевом матриксе. Нередко идиобластические таблички (в поперечном сечении – лейсты) полибазита вырастают в более ранние выделения пираргирита. Характерной особенностью полибазита является его сильное светотравление. Вследствие этого, при воздействии на него света очень скоро лейсты полибазита начинают «рельефно» выделяться в близком к нему по оптике пираргирите. Отмечаются пираргирит-полибазит-акантитовые и полибазит-акантитовые сростания, в которых полибазит является как близодновременным с пираргиритом и акантитом, так и отчетливо ранним относительно акантита минералом. Состав полибазита имеет свои особенности в каждой из изученных рудных зон.

Наиболее неустойчивые содержания серебра в нем характерны для зоны Заманчивой (71,13-75,20 мас.% Ag). Нестабильны здесь и содержания мышьяка: 0,13-0,85 мас.%. Типоморфными элементами полибазита являются свинец и теллур. Состав полибазитов зоны Кумирной характеризуется более низкой серебристостью (70,18-72,92 мас.% Ag), несколько повышенными примесями мышьяка (0,62-0,78 мас.%) и постоянным присутствием заметных концентраций селена (0,26-0,33 мас.%), и относительно пониженной, 98 кгс/мм², микротвердостью (10 замеров), по сравнению с полибазитами зоны Заманчивой – 109 кгс/мм² (15 замеров).

В составе поздней серебро-акантит-сульфосольной ассоциации присутствуют халькопириты IV и V. Халькопирит IV наблюдается в виде мелких пятнистых выделений в полисеребросульфосольных агрегатах, возникая при замещении фрейбергита пираргиритом. Особенностью его химического состава является присутствие в нем примеси серебра (0,49 мас.%) и мышьяка 0,54 мас.% (зона Заманчивая уч. Кумирный). Наиболее поздний халькопирит V замещает зерна и агрегаты зерен пираргирита, полибазита и акантита.

Второе защищаемое положение: структурно-магматический контроль минерализации свидетельствует о существовании в пределах узла долгоживущей рудно-магматической системы палеоцен-эоценового возраста. В размещении оруденения от магматического центра и его сателлитов к периферии прослеживается зональность в размещении оруденения, выраженная в последовательной смене олово-медь-цинк-свинец-серебряной, цинк-свинец-серебряной и серебряной минерализацией.

Зональность минерализации в первую очередь проявлена в закономерной смене по вертикали и, как следствие эрозионного среза, по латерали минерально-геохимических типов оруденения. Проведенными исследованиями изученные рудные зоны разделены по преимущественному развитию той или иной минеральной ассоциации на группы (Ивин, 2011). На основе минералого-геохимических данных были подготовлены схемы размещения разных ассоциативных групп, что, в свою очередь, позволило обозначить площади, где сосредоточены однотипные сообщества минерализованных зон.

Эталонным объектом для изучения зональности оруденения явился участок Кумирный. Здесь в вертикальном диапазоне от 200 до 700 м современным эрозионным срезом вскрыты по существу все типы минерализации, известные в НТРУ. Установлена их последовательная смена по вертикали (рис. 2). На уровне зеркала вод р. Таежной (абс. отметки 150-200 м) закартировано олово-медь-цинк-свинец-серебряное оруденение в зонах Белембинской и Бортовой. Выше (на склоне местных сопок) вскрыты по два интервала развития цинк-свинец-серебряных (абс. отметки 200-250 и 400-500 м) и серебряных (абс. отметки 250-350 и 500 -700 м) руд. Олово-медь-цинк-свинец-серебряная и нижняя из цинк-свинец-серебряных – умеренносульфидная - минерализация размещены среди ороговикованных

вулканитов первой пачки приморской свиты. Серебряная и верхняя цинк-свинец-серебряных – убогосульфидная - минерализация фиксируется среди приморских вулканитов третьей пачки. Таким образом, выявленная зональность типов оруденения обладает специфической особенностью, каковой является наличие пар «полос» цинк-свинец-серебряного и серебряного оруденения.

На участке Левобережном цинк-свинец-серебряный тип оруденения выявлен на уровне абс. отметок 300 и 700 м, а олово-медь-цинк-свинец-серебряный – в промежутке между ними (абс. отметка 400 м). При этом цинк-свинец-серебряная минерализация развита среди пород первой (нижний уровень) и третьей (верхний уровень) пачек приморской свиты, а олово-медь-цинк-свинец-серебряное оруденение – среди пород второй пачки богопольской свиты.

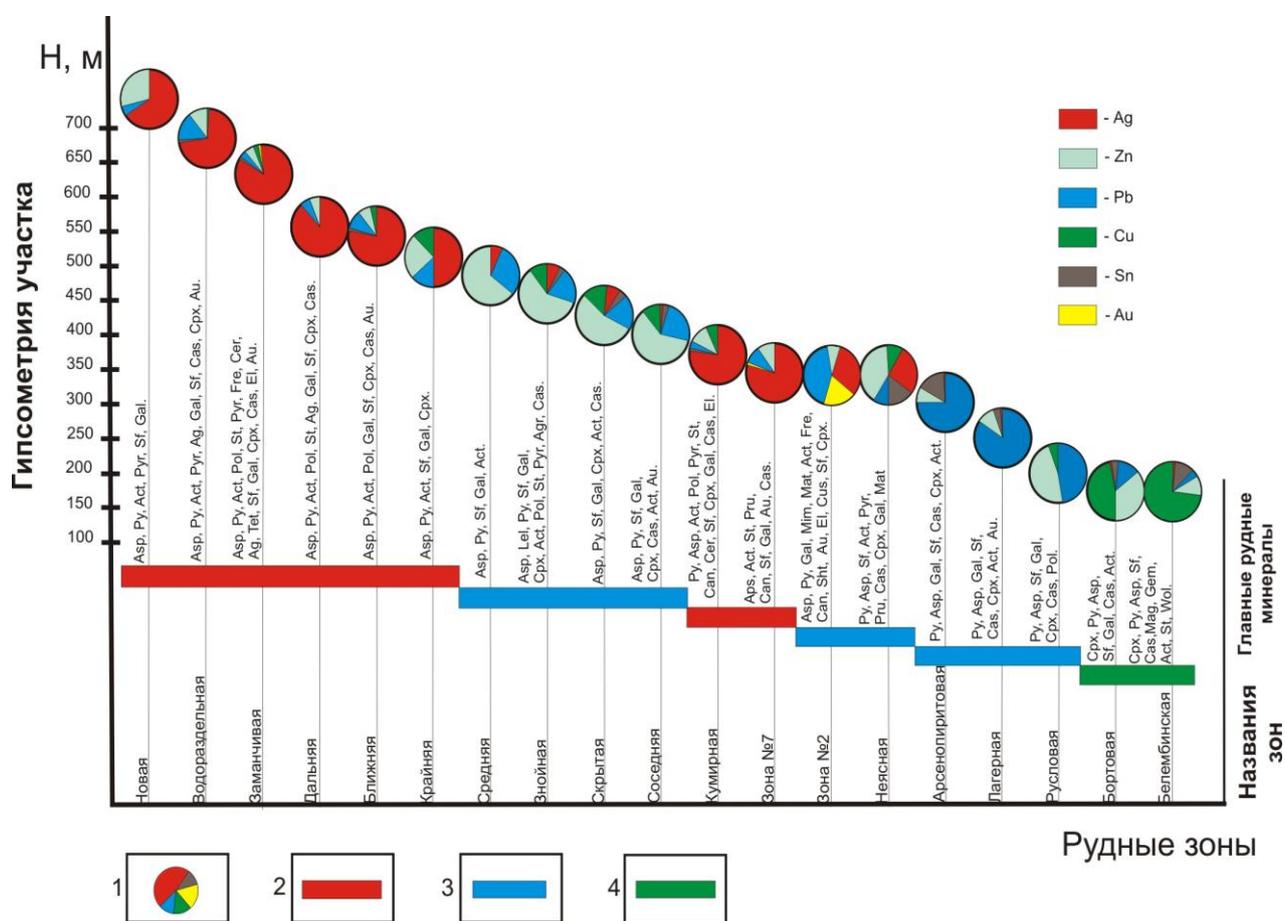


Рис. 2 Схема минерально-геохимической зональности оруденения участка Кумирного
Условные обозначения: 1 – соотношение рудных элементов в зонах по данным геохимического опробования; 2-4 минерально-геохимические типы руд: 2 – серебряный, 3 – цинк-свинец-серебряный, 4 – олово-цинк-свинец-серебряный; Индексами обозначено: Py - пирит, Pyr - пирротин, Mag - магнетит, Gem - гематит, Asp - арсенопирит, Lel - леллингит, Sf - сфалерит, Gal - галенит, Mat - матильдит, Cpx - халькопирит, Cas - касситерит, Wol - вольфрамит, Act - акантит, Pol - полибазит, St - стефанит, Pyr - пираргирит, Can - канфильдит, Cer - кераргирит, Fre - фрейбергит, Pru - прустит, Arg - аргиродит, Mat - матильдит, Ag - самородное серебро, Au - самородное золото, El - электрум, Cys - кюстелит.

Очень показательны своеобразные признаки зональности оруденения на участке Средний Сухой. Здесь в вертикальном диапазоне от 200 до 500 м зафиксирована смена нескольких типов минерализации: на уровне с абс. отметкой 180 м распространены цинк-свинец-серебряная, выше (на уровне 220 м) – серебряная, еще выше (уровень 300 м) – олово-медь-цинк-свинец-серебряная, и, наконец, на уровне 500 м – цинк-свинец-серебряная. Олово-медь-цинк-свинец-серебряная и цинк-свинец-серебряная минерализация расположена среди вулканитов самаргинской свиты. Серебряное оруденение выявлено в эффузивно-пирокластических накоплениях второй пачки богопольской свиты.

Сходный с эталонным объектом характер вертикальной зональности отмечается и на участке Кабаньем. Здесь также фиксируется «парность» развития типовой минерализации в диапазоне от 50 до 400 м. Цинк-свинец-серебряная минерализация установлена на уровнях 50 и 250 м, а серебряная на уровне 150 и 350 м. И та, и другая минерализация сосредоточены среди пород первой (K_2pr_1) и второй (K_2pr_2) пачек приморской толщи. Приведенные примеры позволяют констатировать сложность размещения типов руд у современной поверхности узла, вследствие блокового строения рудоносной площади и разного уровня эрозионного среза ее участков. Размещенность оруденения относительно рудовмещающих толщ отражена на специальной схеме (рис. 3).

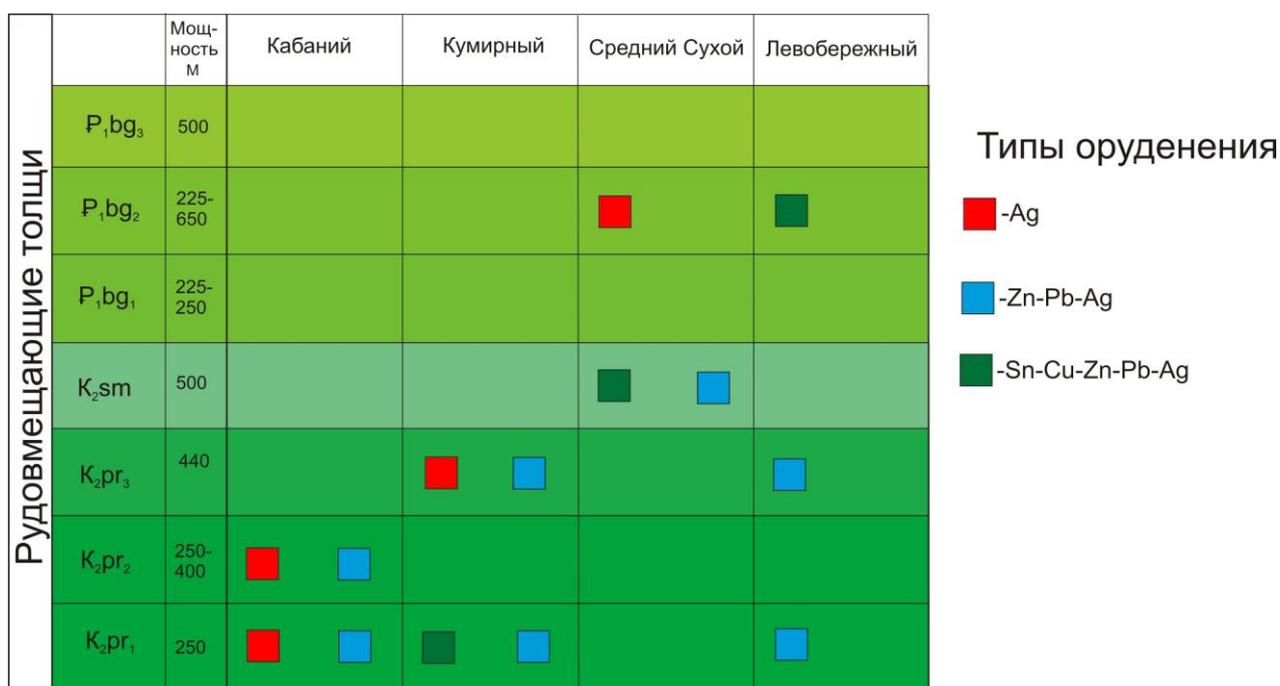


Рис. 3. Схема размещения разных типов оруденения среди стратифицированных толщ в НТРУ.

Ее анализ позволил выделить участки, где проявлены все (Кумирный и Средний Сухой) или только некоторые типы оруденения (Кабаний и Левобережный). Поскольку латеральная зональность predetermined

существованием вертикальной, то представляется естественным объяснение сложности размещения влиянием эрозионного среза. На участке Кабаньем не выявлено олово-медь-цинк-свинец-серебряного оруденения. Возможно, оно еще не вскрыто эрозией.

На участке Левобережный не обнаружены руды серебряного типа, поскольку, вероятнее всего, они здесь денудированы. Однако, размещение выявленной здесь Sn-Cu-Zn-Pb-Ag минерализации выше Zn-Pb-Ag, объясняется «пограничным» пространственным расположением участка Левобережного. Часть рудных зон (Дорожная, Параллельная) расположены в пределах Шандуйской кальдеры, другие же (Студенченская, Малахитовая и др.) находятся в Носыревской кальдере, имеющими разный уровень эрозионного среза. Вместе с тем, объяснить всю сложность размещения разнотипной минерализации только разной величиной эрозионного среза участков не представляется возможным.

Анализ зонального распределения разных типов оруденения с позиции его литолого-стратиграфического контроля (рис. 3), в целом указывает, что образование оруденения НТРУ в основном происходило после формирования богопольского комплекса. Ранее же считалось, что образование олово-медь-цинк-свинец-серебряной и цинк-свинец-серебряной минерализации произошло с самаргинское время, а серебряной – в богопольское (Родионов, 1993).

Дальнейшие исследования показали, что заметное влияние на размещение оруденения оказал контроль интрузивными образованиями (рис. 4). Так, на уч. Кумирном олово-медь-цинк-свинец-серебряная минерализация развита у западного экзоконтакта Малиновской интрузии. По мере удаления от массива к юго-западу упомянутая минерализация сменяется цинк-свинец-серебряной и серебряной. К восточному экзоконтакту Малиновской интрузии также приурочено цинк-свинец-серебряное и серебряное оруденение уч. Кабаньего. На уч. Средний Сухой по мере удаления от Березовского массива также наблюдается последовательная смена олово-медь-цинк-свинец-серебряной минерализации цинк-свинец-серебряной и серебряной. На уч. Левобережном не закартированы коренные выходы интрузивных образований, но установлены экструзии дацитов богопольского комплекса. Они, возможно, являются верхними частями слабо эродированного сателлита Малиновского интрузивного массива. Вблизи экструзива распространена олово-медь-цинк-свинец-серебряная минерализация, а на удалении от него в южном направлении – цинк-свинец-серебряная.

Вектор метасоматической зональности на участках также направлен от интрузивов. В эндо- и экзоконтактах с вмещающими породами выявлены высокотемпературные кварц-мусковитовые грейзены, содержащие Sn-Cu-Zn-Pb-Ag минерализацию. При удалении от интрузивов фиксируется смена ореолов грейзенизации и ороговикования ореолами низкотемпературной пропилитизации и кварц-серицит-гидрослюдистых изменений, которые сопровождаются Zn-Pb-Ag и Ag оруденением.

Таким образом, на уч. Кумирном в направлении удаления от Малиновской интрузии олово-медь-цинк-свинец-серебряные зоны сменяются

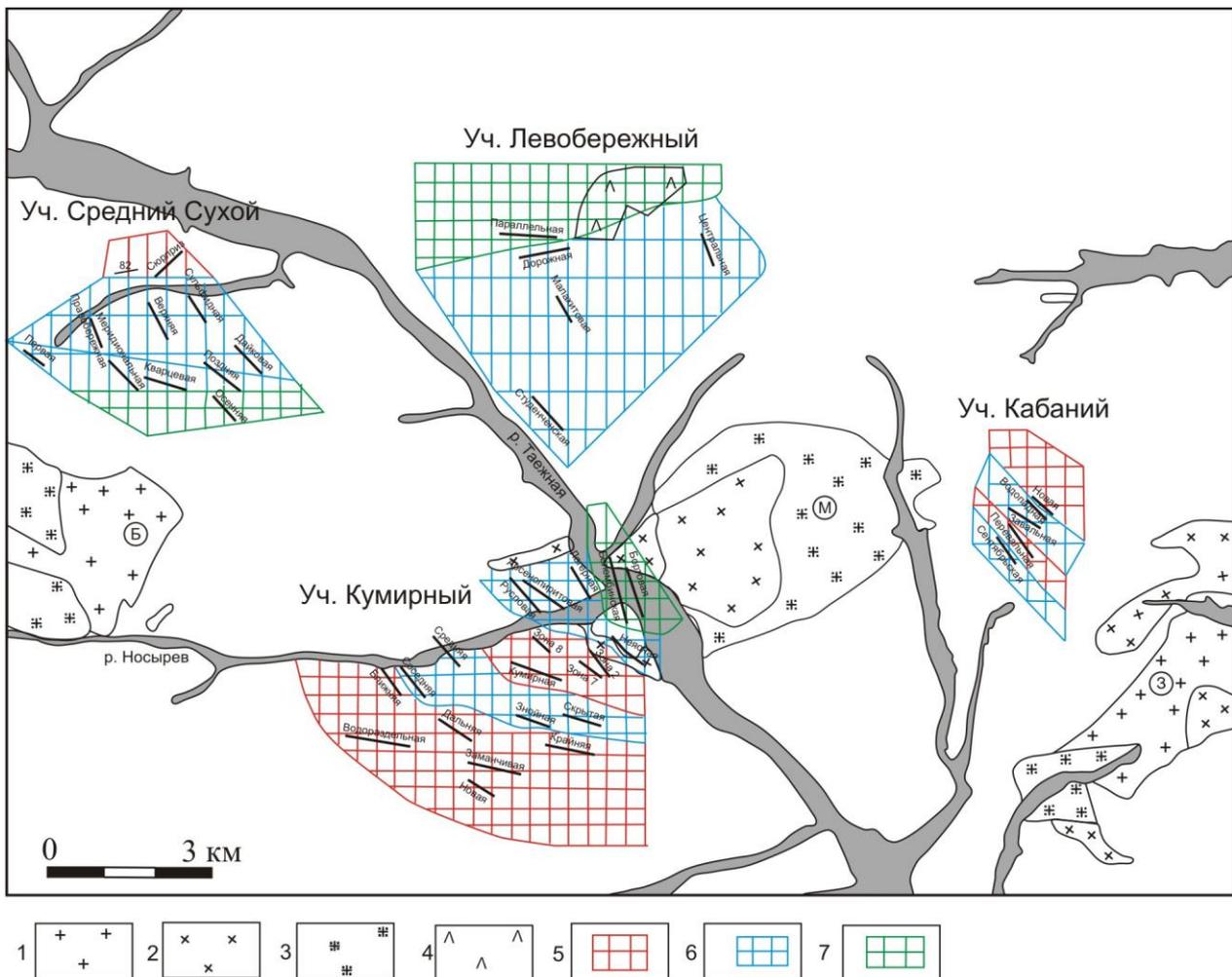


Рис. 4. Схема зонального размещения минерально-геохимических типов оруденения в НТРУ относительно интрузивных массивов.

Условные обозначения: 1 – граниты крупно- мелкозернистые биотитовые; 2 – диориты крупнозернистые; 3 – граниты мелко и среднезернистые, миароловые; 4 – андези-дациты, дациты; 5-7 типы оруденения: 5 – серебряный тип; 6 – цинк-свинец-серебряный тип; 7 – олово-медь-цинк-свинец-серебряный тип. Буквы в кружочках обозначают массивы: М - Малиновский, З - Заводской, Б - Березовский.

цинк-свинец-серебряными, а затем и серебряными. Подобная латеральная зональность относительно интрузивных массивов прослеживается и на других участках НТРУ. Установленная латеральная зональность минерализации является отражением вертикальной, поскольку Sn-Cu-Zn-Pb-Ag оруденение распространено в урзе водотоков (с абсолютными отметками порядка 150 м) и сменяется Zn-Pb-Ag на склонах местных гор (абс. отметки 300 м), а затем на собственно Ag вблизи водоразделов (абс. отметки 650 м). Эти данные показывают, что на участке Кумирном в 500 метровом интервале выявлена вертикальная минерально-геохимическая зональность. Она фрагментарно прослеживается и на других участках узла. На участке Левобережном в диапазоне отметок 350-700 м наблюдается смена двух типов минерализации: Sn-Cu-Zn-Pb-Ag на Zn-Pb-Ag. На участке Средний Сухой в интервале отметок 200 – 470 м олово-медь-цинк-свинец-серебряное оруденение сменяется на цинк-свинец-серебряное, а затем на серебряное. На участке Кабаньем в

диапазоне от 50 до 450 м также выявлена смена Zn-Pb-Ag минерализации на серебряное Ag оруденение. На основе вышеизложенного, для всех участков узла установлена общая генерализованная схема вертикальной зональности, имеющая следующий вид: на низких гипсометрических отметках рельефа, приближенных к магматическим телам, распространена олово-медь-цинк-свинец-серебряная, на среднем уровне рельефа – цинк-свинец-серебряная и на верхних уровнях, удаленных от магматических каналов, серебряная минерализация.

Третье защищаемое положение: выявленные признаки зональности, а также ярусности в размещении рудной минерализации позволяют положительно оценить ресурсный потенциал НТРУ. При сравнении узла с известными крупными многометалльными месторождениями Тихоокеанского рудного пояса (Гуанохуато, Мексика; Дукат, Россия; объекты Дальнегорского района в Приморье и др.) обнаруживается их сопоставимость по многим геологическим и минералого-геохимическим характеристикам.

Анализ пространственного размещения разных минерально-геохимических типов оруденения не позволил точно оценить размах проявленного оруденения и степень эродированности участков. Для этого потребовался объемный анализ распределения элементов первичных геохимических ореолов. При этом учтены практически все имеющиеся в геологических материалах результаты спектральных, спектрозолотометрических, атомно-абсорбционных, химических и пробирных анализов основных элементов (Sn, Pb, Zn, Cu, Ag, Ga, V, Cr, Ni, Mn, Cd, Co, Mo, W, As, Au, Bi, Li, Sb). Геохимические данные 5000 анализов бороздовых и сколковых проб, отобранных в горных выработках (канавах, расчистках и скважинах), характеризующие распределение основных рудных компонентов на площади узла, были исследованы по специально разработанной системе с использованием компьютерной программы Matlab (Ивин, 2007). Это позволило создать карты изоконцентраций пространственного распределения элементов (по вертикали и латерали) каждого из участков узла с учетом гипсометрии современной поверхности.

Анализ карт первичных геохимических ореолов проводился по методу коэффициента контрастности (КК), т.е. отношения реального содержания элемента, нормированного к его кларку. Геохимический ряд элементов-индикаторов зональности строился по максимальным значениям КК. Элементы-индикаторы, у которых с глубиной уменьшается КК, или, наоборот увеличивался, были разделены на две группы.

Идеальным объектом для изучения геохимического распределения элементов (и по вертикали, и по горизонтали) оказался участок Кумирный. Для определения вероятных направлений изменения концентраций элементов в процессе локализации рудных залежей были построены карты первичных геохимических ореолов. Естественно, все выявленные геохимические аномалии элементов оказались приурочены к жильно-метасоматическим зонам. Анализ построенных карт первичных геохимических ореолов на участке позволил

подтвердить существование горизонтальной (латеральной) зональности. Наиболее высокие концентрации Ag и Sb выявлены на его западном фланге, As и Au - в центре, а Mo, Pb, Zn, Cu и Sn – на восточном фланге, вблизи Малиновского гранитного массива. На других участках узла латеральная зональность проявлена менее контрастно. Отчасти это обусловлено их недостаточной изученностью.

Наиболее важным в теоретическом и практическом отношении является исследование распределения элементов-индикаторов по вертикали, имеющее решающее значение при оценке уровня эрозионного среза участков и вертикального размаха проявленного оруденения, в т.ч. и на глубину. С этой целью изучено пространственное размещение элементов. В последующем они использованы для оценки относительного уровня среза рудоносных участков. Анализ распределения элементов, участвующих в составе выделенных типов оруденения, с учетом гипсометрии современной поверхности, показал, что максимальные концентрации Ag и Sb фиксируются на уровне 550 м и обнаруживают слабую тенденцию к понижению с глубиной. Наибольшие концентрации Au и As отмечаются на уровне около 400 м, снижаясь от этого уровня и вверх, и вниз. Содержания Pb, Ga и Ge существенно возрастают около отметок 300 м. Самые высокие концентрации Cu, Mn, Mo, Ni, Sn, Cr и Zn зафиксированы в пониженной части минерализованной площади на уровне 200 м.

Сходный с эталонным объектом характер распределения элементов отмечается на уч. Кабаньем. Максимальные концентрации Ag, Sb и As зафиксированы на верхних гипсометрических горизонтах, а на нижних – Cu и Sn.

Отличительной особенностью геохимической зональности уч. Среднего Сухого и Левобережного, является присутствие значительных содержаний Pb, Zn на верхнем горизонте, а Sb – на нижнем.

Представленные по разным участкам НТРУ данные демонстрируют в целом сложное распределение элементов во вскрытом эрозией интервале (с абс. отметками от 200 до 600 м). Эта сложность выражается в присутствии Ag, Au и Mo как на верхних, так и на нижних горизонтах; Pb и Zn на верхних и средних гипсометрических уровнях, а Sb – во всем вскрытом интервале (табл. 2). Приведенные данные свидетельствуют о существовании на разных участках узла специализированных геохимических рядов: на Кумирном (Ag, Sb, As, Au, V, Pb, Ga, Ge, Cu, Sn, Zn, Mo, Mn, Cr, Ni); на Левобережном (Pb, Ag, Zn, Sn, Au, Cr, Sb, Cu, V, Vn, Ga, Mo, Ge); на Среднем Сухом (Zn, Cu, Sn, Pb, V, Mn, As, Sb, Ag, Mo, Ge, Au, Cr); на Кабаньем (As, Sb, Ni, Ag, Mo, Pb, Zn, Cu, Au, Sn, Mn).

Для оценки вертикального размаха оруденения на участках и выявления дополнительных признаков ярусности размещения минерализации произведен расчет групповых (мультипликативных) коэффициентов геохимического распределения, для выбора которых использованы отмеченные выше ряды элементов. Использование таких коэффициентов позволяет повысить надежность перспективной оценки участков. Согласно теоретическим

разработкам, используются максимально удаленные друг от друга элементы в геохимических рядах для получения выразительных отношений между ними.

Таблица 2

Распределение максимальных коэффициентов контрастности (КК) по вертикали

Высота м	Кумирный	Левобережный	Средний Сухой	Кабаний
200	Cu(566); Sn(152); Zn(117); Mo(75); Mn(2); Ni(1); Cr(1)		Sb(300); Ag(136); As(1388); Au(4); Cr(1); Mo(41); Mn(2); V(6); Ni(1); Ge(2); Ga(1)	
300	Pb(307); Ge(1); Ga(1)	Ge(1); Mo(64); Sb(73); Ga(1)	Pb(923);	Sn(3); Mn(2); Au(2); Ga(1); Ge(1)
400	As(2777); Au(45); V(3)	Mn(2); Cu (26); V(3)	Zn(176); Sn(7); Cu(18)	Sb(233); Ag(164); As(500); Pb(9); Mo(11); Zn(9); V(3); Ni(1); Cr(1)
500	Ag(410); Sb(300)	As(166); Au(2); Sn(60); Cr(1); Ni(1)		
600		Ag(27); Pb(153); Zn(9)		

При этом числителем служит количественная характеристика элементов характерных для сереброносных, а знаменателем – такая же характеристика олово-медь-цинк-свинец-серебряных ореолов. Для участка Кумирного рассчитаны отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов для следующих групп элементов-индикаторов: $Sb \cdot As / Zn$, $Sb \cdot Ag \cdot As / Cu \cdot Sn$, Ag / Cu . На основе выполненных расчетов были построены графики изменения приведенного индикаторного отношения по падению рудоносных зон - парных и мультипликативных коэффициентов, значения которых откладывались по оси абсцисс, а по оси ординат – высотный гипсометрический уровень. Полученные графики (рис. 5) фиксируют относительно монотонное уменьшение с глубиной мультипликативных коэффициентов геохимической зональности. На уровне 400 м зафиксирован отчетливый максимум индикаторных отношений, что расценивается в пользу размещения на отмеченном уровне наиболее богатого (высокопродуктивного) оруденения. На более низких отметках фиксируется снижение рассчитанных коэффициентов геохимической зональности. Однако, на уровне условного подрудного горизонта выявлена и обратная тенденция – постепенное возрастание продуктивности, что расценивается как указание на возможность существования другого яруса Ag оруденения. Согласно обнаруженной тенденции, западный фланг участка обладает меньшим эрозионным срезом и, значит, его глубокие горизонты могут рассматриваться как более перспективные на выявление продуктивных минеральных (сульфольных и полиметаллических) ассоциаций. На восточном фланге участка находятся исключительно корневые части зон, что может свидетельствовать о низкой перспективности его глубоких горизонтов в отношении благороднометального оруденения.

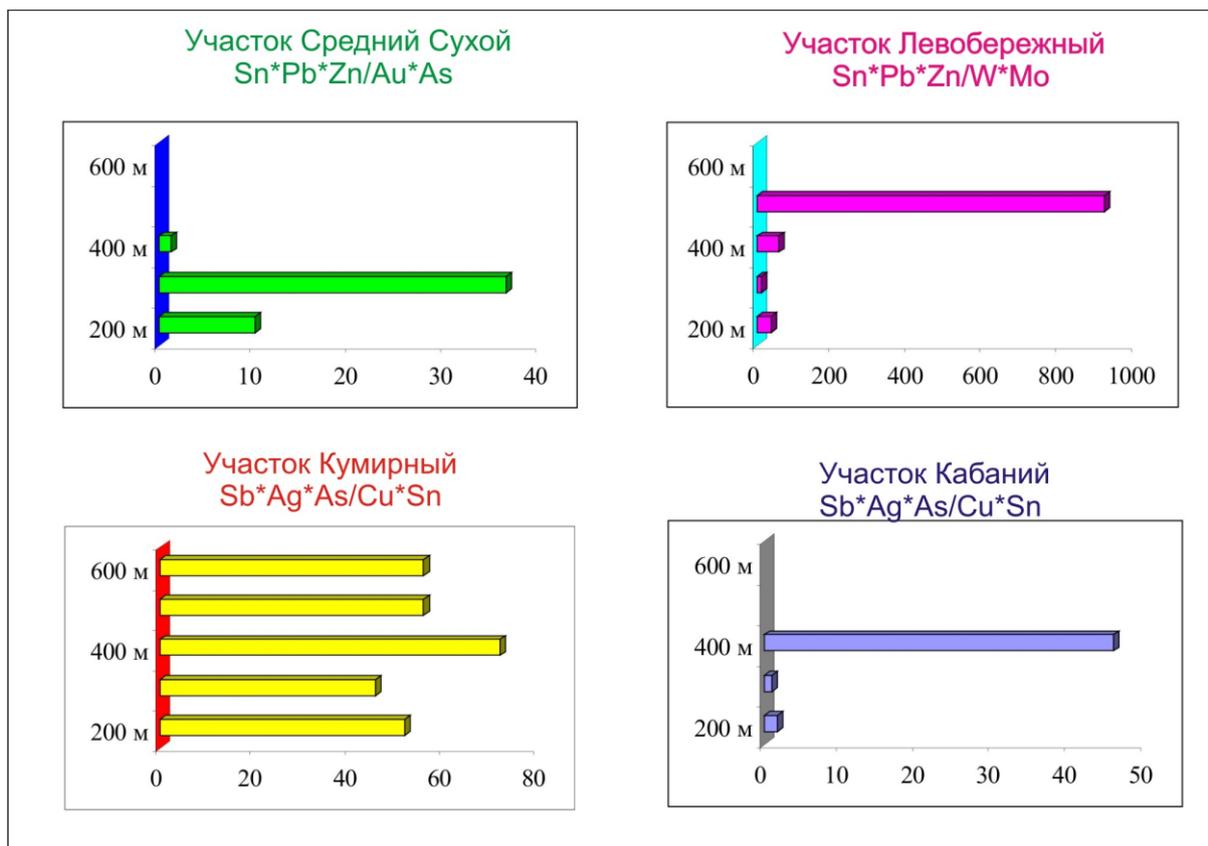


Рис. 5. Значения парности мультипликативных коэффициентов геохимической зональности разных участков НТРУ.

На участке Левобережном отношение линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов $Ag*Pb/Mo$, $Sn*Zn/Au$, $Pb*Zn*Ag/Au*Mo$ учтены при построении соответствующих графиков.

Из них следует, что максимальный коэффициент продуктивности фиксируется на уровне 500 м, снижаясь с глубиной. Максимальное его значение на самом верхнем уровне указывает, что участок значительно эродирован и здесь вскрыто у поверхности продуктивное оруденение (рис. 5). На нижнем уровне (300 м) наблюдается увеличение мультипликативного коэффициента, а далее новое его снижение, что также свидетельствует о возможной ярусности оруденения.

На участке Средний Сухой были выбраны следующие мультипликативные отношения элементов-индикаторов: $Sn*Pb*Zn/As*Au$, Cu/Au , $Pb*Zn/As$. Из их сопоставления наиболее информативным оказался первый (рис. 5). Его изменения свидетельствуют, что на уровне 300 м оруденение обладает максимальной продуктивностью, постепенно убывая с глубиной, а вблизи водораздельных отметок вообще отсутствует. Это может указывать, что площадь участка Среднего Сухого, вероятнее всего, слабо эродирована, а диапазон проявленного здесь оруденения изучен не в полной мере.

Для расчета мультипликативного коэффициента геохимической зональности на участке Кабаний использовались следующие отношения: $Ag*Mo/Sn*Pb$, $As*Sb*Ag/Cu*Sn$, $Ag/Sn*Pb*Au$. Из графиков следует, что

наибольшая продуктивность располагается на отметке 400 м. Минимальные ее значения приходятся на горизонт 300 м. Такое распределение значений коэффициентов свидетельствует, что эрозией вскрыто оруденение продуктивного горизонта. Тенденция увеличения продуктивности на уровне 200 м указывает на возможность наличия еще одного яруса.

Графическое изображение численных показателей изменения с глубиной мультипликативных коэффициентов геохимической зональности позволило выделить разные уровни оруденения, а затем разделить участки на группы со сходными трендами изменчивости: слабо эродированные (Кумирный, Средний Сухой) и значительно эродированные (Кабаний, Левобережный). На всех участках (кроме Среднего Сухого) выявлена ранее неизвестная тенденция постепенного возрастания продуктивности с глубиной, что может расцениваться как еще одно указание на существование ярусности в размещении оруденения в пределах НТРУ.

Сравнение с другими подобными объектами вулкано-плутонических поясов Тихоокеанского обрамления показывает, что принципиально сходная схема распространения серебряного оруденения характерна для крупных месторождений Мексики (Гуанахуато), северо-востока России (Дукат и др.), а также для серебросодержащих полиметаллических месторождений юго-восточного Приморья (Красногорское, Каменное, Милоградское и др.). Это и позволило сформулировать третье защищаемое положение и о положительной оценке перспектив Нижне-Таежного узла в т.ч. и на выявление глубокозалегающей рудной минерализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные геологические, геохронологические, минералогические и геохимические исследования многометалльного оруденения НТРУ позволили сделать следующие выводы.

1. Многометалльное оруденение узла представлено олово-медь-цинк-свинец-серебряным (Sn-Cu-Zn-Pb-Ag), цинк-свинец-серебряным (Zn-Pb-Ag) и серебряным (Ag) геохимическими типами. Первый характеризуется касситерит-халькопирит-сфалерит-галенит-акантитовой, второй – сфалерит-галенит-акантитовой, третий – акантит-пираргирит-полибазитовой минерализацией. Особенность Sn-Cu-Zn-Pb-Ag типа – присутствие касситерита, содержание которого достигает 1 и более %. Для Zn-Pb-Ag типа руд характерно самородное золото. Важнейшая особенность вещественного состава серебряного (Ag) типа – значительное разнообразие минеральных форм серебра, а также зараженность серебром простых сульфидов, связанная с наличием мельчайших включений серебряных минералов.

2. Анализ пространственного распределения минерально-геохимических типов оруденения позволил установить, что определяющую роль в формировании оруденения принадлежит долгоживущей рудно-магматической системе палеоцен-эоценового возраста. При удалении от ее магматического центра и его сателлитов олово-медь-цинк-свинец-серебряные зоны сменяются цинк-свинец-серебряными, а затем и серебряными. Установленная латеральная

зональность минерализации является отражением вертикальной, при которой Sn-Cu-Zn-Pb-Ag оруденение в урезе водотоков с абсолютными отметками 150 м сменяется Zn-Pb-Ag на склонах местных гор (абс. отметки 300 м) и, наконец, на серебряным вблизи водоразделов (абс. отметки 650 м). Вертикальная зональность полностью проявлена на участке Кумирном в 500-метровом интервале высотных отметок. Ее фрагменты выявлены на участках Левобережный, Средний Сухой, Кабаний.

3. Выделены элементы-индикаторы, маркирующие концентрационные уровни развития минерализации в рудоносных зонах, и рассчитаны мультипликативные коэффициенты геохимической зональности, позволившие разделить участки НТРУ на слабо (Кумирный, Средний Сухой) и значительно эродированные (Кабаний, Левобережный). На всех участках, кроме Среднего Сухого, выявлена тенденция постепенного возрастания с глубиной мультипликативных коэффициентов относительно его самого низкого значения, что можно расценивать как указание на возможность ярусного размещения оруденения и высокую прогнозную перспективность узла на серебро.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Rodionov A.N., Khomich V.G., Simanenko L.F., Boriskina N.G., **Ivin V.V.** Geology and silver mineralisation types of the Nizhne-Taezhny ore cluster// Metallogeny of the Pacific Northwest. Tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Proceeding of the interim IAGOD conference. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 530-533.

2. Родионов А.Н., Хомич В.Г., Борискина Н.Г., Симаненко Л.Ф., **Ивин В.В.** Минеральные ассоциации и ресурсный потенциал сереброносных зон Нижне-Таежного узла (Восточно-Сихотэ-Алинский вулканогенный пояс)// Материалы научной конференции «Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд». Иркутск, 2005. Т. 1. С. 96-99.

3. Родионов А.Н., Хомич В.Г., **Ивин В.В.**, Борискина Н.Г. Типы золотого оруденения Юго-Западного Приморья// Материалы научной конференции «Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд». Иркутск, 2005. Т. 1. С. 99-101.

4. Хомич В.Г., Родионов А.Н., Фатьянов И.И., Борискина Н.Г., **Ивин В.В.** Благороднометалльная минерализация Юго-Западного Приморья и перспективы ее оценки// Труды VI международного симпозиума по геологической и минерагенической корреляции в сопредельных районах России, Китая и Монголии и Чтений памяти ак. С.С. Смирнова «Проблемы геологической и минерагенической корреляции в сопредельных территориях России, Китая и Монголии». Чита, 2005. С. 105-108.

5. **Ивин В.В.**, Родионов А.Н., Хомич В.Г., Симаненко Л.Ф., Борискина Н.Г. Геологическое строение и типы эндогенной минерализации Нижне-Таежного рудного узла (Приморье)// Тихоокеанская геология, 2006. Т. 25. № 3. С. 81-87.

6. **Ивин В.В.**, Хомич В.Г., Родионов А.Н., Борискина Н.Г. Многометальное оруденение и зональность Нижне-Таежного узла (Восточно-Сихотэ-Алинский вулcano-плутонический пояс)// Труды VII Международного симпозиума по геологической и минерагенической корреляции в сопредельных районах России, Китая и Монголии. Чита, 2007. С. 92-95.

7. **Ивин В.В.**, Хомич В.Г., Родионов А.Н., Борискина Н.Г. Многометальное оруденение Нижне-Таежного узла (Восточный Сихотэ-Алинь) и его геологическая позиция// Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Тектоника и металлогения Северной Циркум-Пацифики и Восточной Азии». Хабаровск, 2007. С. 464-466.

8. **Ивин В.В.**, Родионов А.Н., Хомич В.Г. Особенности вещественного состава серебряной минерализации северных районов Приморья// Тезисы докладов региональной конференции молодых ученых «Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России». Владивосток, 2006. С. 29-31.

9. **Ivin V.V.** Geochemical aureoles of ore-bearing areas of Nizhne-Taezhniy ore node (East Sikhote-Alin)// Proceeding of Eights international Yung Scholar's Forum of the Asia-Pacific Region Countries, 2008. Vladivostok. P. 104-108.

10. **Ивин В.В.**, Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Гидротермалиты Милоградовской площади (Южное Приморье) и их пространственные соотношения с проявлениями золото-серебряной минерализации// Вестник Томского государственного университета, 2008. № 315. С. 218-220.

11. **Ивин В.В.** Признаки ярусного размещения оруденения Нижне-Таежного многометального узла (Северное Приморье)// Всероссийская научная конференция «Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии». Благовещенск. 2010. С. 89-92.

12. Хомич В.Г., **Ивин В.В.**, Борискина Н.Г. Новые определения возраста (К-Аг метод) интрузивных образований Нижнетаежного рудного узла (Северное Приморье) // Вестник Томского государственного университета, 2010. № 331. С. 214–218.

13. **Ивин В.В.** К прогнозной оценке Нижне-Таежного рудного узла по эндогенным геохимическим ореолам// Материалы 3-й региональной конференции молодых ученых «Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 73-76.

14. **Ивин В.В.** Минерально-геохимическая зональность Кумирного месторождения серебра (Северное Приморье)// Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». Иркутск, 2011. С. 99-101.

15. **Ивин В.В.** Кумирное месторождение серебра (Северное Приморье) и возможный геодинамический режим его формирования // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит». Владивосток, 2011. С. 359-362.