Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова Геологический факультет Кафедра геохимии

На правах рукописи

Сидорина Юлия Николаевна

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫЯВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В БАИМСКОЙ МЕДНОРУДНОЙ ЗОНЕ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА)

Специальность 25.00.09 — геохимия, геохимические методы поисков

полезных ископаемых

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель кандидат геолого-минералогических наук, доцент Николаев Юрий Николаевич

г. Москва 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введени	ие	3		
Глава 1	. Порфирово-эпитермальные системы	9		
1.1.	Общие сведения о порфирово-эпитермальных системах	9		
1.2.	Геохимическая зональность порфирово-эпитермальных систем	16		
1.3.	Зона окисления медно-порфировых месторождений	20		
1.4.	Поиски медно-порфирового и сопутствующего оруденения	23		
1.5.	Обзор применения рентгенофлуоресцентного анализа в геологоразведке	24		
1.6.	Медно-порфировые руды в России и изученность Баимского золото-меднорудн	юго		
район	на	27		
Глава 2	. Общая характеристика объекта исследования	34		
2.1.	Физико-географическая характеристика	34		
2.2.	Геологическое строение Баимской зоны и минеральный состав оруденения	35		
2.3.	Ландшафтно-геохимические условия	49		
Глава 3	. Методика исследований	55		
3.1.	Полевые работы	55		
3.2.	Аналитические работы	58		
3.3.	Обработка геохимических данных	62		
Глава 4	4. Технология поисков медно-порфирового и сопутствующего оруденения в услов	иях		
Северо-	Востока России	68		
4.1.	Сравнение результатов геохимического картирования при поисках по вторичн	ным		
ореол	ам рассеяния разного масштаба	68		
4.2.	Опыт полевого рентгенофлуоресцентного анализа при поисковых геохимичес	ких		
работ	rax	71		
Глава 5	. Геохимические критерии выявления и оценки медно-порфирового и сопутствующ	цего		
орудене	ения по вторичным ореолам рассеяния	83		
5.1.	Гипергенное геохимическое поле порфирово-эпитермальных систем	83		
5.2.	Оценка содержаний полезных компонентов в рудах по их содержаниям во вторич	ных		
ореол	ах в условиях гипергенного перераспределения	98		
5.3.	Первичная зональность оруденения	113		
5.4.	Критерии оценки уровня эрозионного среза	128		
5.5.	Оценка уровня среза слабоизученных медно-порфировых объектов	130		
Глава 6	. Прогнозная оценка ресурсов АГХП Баимской зоны	134		
Заключ	ение	140		
Список	использованных сокращений и обозначений	146		
Список	литературы	147		
Прил	ожение 1. Результаты анализа стандартных образцов спектрометром Niton FXL-950	160		
Приложение 2. Вторичные ореолы некоторых элементов на участках Баимской зоны 165				
Приложение 3. Кадастр АГХП Баимской зоны				
Прил	ожение 4. К определению коэффициента остаточной продуктивности по кана	вам		
месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля 175				

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В мире основная масса меди добывается из медно-порфировых месторождений, которые к тому же являются важнейшим источником молибдена, золота, серебра, рения, теллура и элементов платиновой группы. Россия замыкает семерку ведущих мировых продуцентов меди, но и структура сырьевой базы нашей страны заметно отличается от мировой: большая часть меди добывается из руд сульфидных медно-никелевых и медноколчеданных месторождений. Однако, после детальной разведки медно-порфирового месторождения Песчанка и подсчета там запасов в количестве 3,73 млн т меди, 98 тыс. т молибдена, 234 т золота, 2 тыс. т серебра, в перспективе значимость этого геологопромышленного типа в российской сырьевой базе должна возрасти. Высокие перспективы наращивания запасов меди и попутных молибдена и золота таит в себе Баимская металлогеническая зона, в пределах которой расположено месторождение Песчанка.

Геохимические поиски — один из самых распространенных и эффективных методов выявления медно-порфирового оруденения. В то же время определение перспективности медно-порфировых объектов на поисковой стадии геологоразведочных работ по геохимическим данным является нетривиальной задачей. В результате гипергенных процессов в зависимости от современных и палеоклиматических условий и ландшафтных особенностей в зоне гипергенеза происходит существенное перераспределение главных и второстепенных рудных элементов, что оказывает влияние на результаты количественной оценки их содержаний и ресурсов в рудах по вторичным ореолам и потокам рассеяния.

Прогноз оруденения на глубину в основе своей имеет определение эндогенной зональности оруденения. Поскольку медно-порфировые, или порфирово-эпитермальные (ПЭС), системы, как правило, являются полистадийными и помимо медно-порфирового оруденения могут продуцировать еще несколько видов сопутствующей минерализации, выявление геохимической зональности каждой отдельной порфирово-эпитермальной системы требует индивидуального и комплексного подхода (интеграция геохимических, минералогических, термобарометрических и др. данных).

В связи с вышесказанным, предложенное в настоящей работе решение поставленных вопросов выявления, оценки и прогноза на глубину медно-порфирового и сопутствующего оруденения, определяет работу как актуальную. Работа направлена на совершенствование методики геохимических поисков, повышение их информативности и экономической эффективности.

Цель работы — разработка геохимических критериев выявления и оценки меднопорфирового и сопутствующего оруденения по вторичным ореолам рассеяния применительно к ландшафтно-геохимическим условиям Западной Чукотки и прогноза его распространения на глубину на основе исследования эндогенной зональности оруденения (на примере объектов Баимской меднорудной зоны).

Основные задачи:

- расчет параметров геохимического фона и вторичных ореолов рассеяния главных элементов и элементов-спутников минерализации порфирово-эпитермальных систем, изучение структуры аномальных геохимических полей;
- определение критерия выявления медно-порфировых штокверков и золото-серебряных руд по вторичным ореолам рассеяния;
- разработка и апробация технологической схемы геохимических поисков с использованием полевого рентгенофлуоресцентного анализа;
- определение коэффициента остаточной продуктивности для меди, молибдена и золота в различных элементарных ландшафтах;
- изучение распространения и параметров зоны окисления эталонных медно-порфировых штокверков;
- исследование латеральной и вертикальной геохимической зональности руд;
- определение показателя зональности, позволяющего провести оценку уровня эрозионного среза слабоизученных порфирово-эпитермальных систем;
- оценка перспективности аномальных геохимических полей с использованием полученных критериев.

Фактический материал и методы исследований. В основу работы положены результаты геохимических поисков, проведенных сотрудниками кафедры геохимии и ООО «Геохимпоиски CB» на участках Баимской меднорудной зоны 2009-2011, 2013, 2015 гг. (с 2010 г. — с участием автора).

Полевые работы включали литохимическую съемку по вторичным и первичным ореолам, поисковые маршруты, опытно-методические работы по определению коэффициента остаточной продуктивности вторичных ореолов (последнее — с непосредственным участием автора).

Аналитическая база включала протоколы: 1) полевого рентгенофлуоресцентного анализа и химико-спектрального анализа на золото 20 тысяч литохимических проб; 2) приближенноколичественного атомно-эмиссионного анализа на 22 элемента и химико-спектрального анализа на золото 5,5 тысяч литохимических проб; 3) ICP-MAES анализа на 40 элементов и пробирного анализа с атомно-абсорбционным окончанием на золото литохимических проб, отобранных для определения коэффициента остаточной продуктивности (305 проб), штуфных (734), бороздовых (8 тыс.) и керновых (81 тыс.) проб. В базу данных канав и скважин вошло кодированное полевое минералогическое описание опробованных интервалов, выполненное сотрудниками ЗАО «Сибгеоконсалтинг» (г. Красноярск).

Экспрессный рентгенофлуоресцентный анализ на спектрометрах Niton XL3t900 и FXL-950 проводился автором в составе коллектива полевой аналитической лаборатории. Остальные исследования химического состава проб выполнялись сотрудниками аккредитованных лабораторий: Центральной комплексной лаборатории прикладной геохимии ОАО «Александровская опытно-методическая экспедиция» (г. Александров Владимирской области) и «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва).

Обработка геохимических и минералогических данных состояла в формировании базы первичных данных; пространственно-статистической обработке, в том числе для определения параметров фона и минимально-аномальных содержаний элементов; картографировании геохимических данных в пакете программ ArcGIS от ESRI (США); определении статистических параметров выборок, соответствующих зонам аномальных геохимических полей; при исследовании геохимической зональности применялся факторный анализ в программе Statistica (США), ряд геохимической зональности получен с использованием программы «НЮ-2» (разработана на кафедре геохимии МГУ).

Научная новизна. Выявлены закономерности строения и состава аномальных геохимических полей, в том числе пространственного распределения основных ассоциаций рудных элементов во вторичных ореолах и их связь с оруденением разных стадий развития порфирово-эпитермальных систем Баимской зоны. Разработаны критерии выделения ядерных частей аномальных геохимических полей. соответствующих промышленному И перспективному медно-порфировому и эпитермальному золото-серебряному оруденению. Изучены параметры, характеристики и влияние зоны окисления на формирование вторичных ореолов рассеяния Баимской зоны И установлены значения коэффициентов пропорциональности, позволяющие проводить оценку содержаний меди в первичных рудах по ее концентрациям во вторичных ореолах. Разработана двухуровневая модель вертикальной геохимической зональности эталонной Находкинской порфирово-эпитермальной системы, предложены показатели зональности для оценки эрозионного среза порфирово-эпитермальных систем и медно-молибден-порфировых штокверков.

Практическая значимость. Разработана и внедрена в практику современная технология поисков медно-порфирового и сопутствующего оруденения с применением экспрессного рентгенофлуоресцентного анализа и ГИС при картографировании результатов, позволяющая в течение одного полевого сезона выявлять и оконтуривать потенциальные рудные тела и заверять полученные результаты канавами и поисковым бурением.

В результате литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния в Баимской меднорудной зоне уточнены контуры известных и локализованы новые перспективные рудоносные структуры с медно-молибденовыми штокверками в вулкано-терригенных образованиях юры, ранее не известные на характеризуемой площади. Полученные данные дают основание также прогнозировать слабоэродированную Светлинскую порфировоэпитермальную систему, где может быть обеспечен прирост ресурсов медно-молибденового и золото-серебряного оруденения.

Проведенными работами доказывается, что дополнительным резервом прироста запасов оруденения в Баимском меднорудном районе может являться погребенное оруденение в долинах рек. Подтверждением этого служит выявленный ранее Северный штокверк месторождения Песчанка и новый штокверк в долине руч. Правый Светлый (Светлинская ПЭС), выделенный по результатам опробования первичных ореолов и вскрытый старателями артели «Луч» (г. Билибино) при отработке полигона россыпной золотодобычи.

В результате работ на участке Весенний геохимически обоснованы, а затем подтверждены бурением прямые признаки пересечения золото-серебряными жильно-прожилковыми зонами медно-порфировых руд штокверкового типа на глубоких горизонтах, что является принципиальным для дальнейшего прироста запасов меди в Баимской зоне.

Уточнен ресурсный потенциал Баимской зоны. С применением разработанных критериев по оценке содержаний меди в рудах по содержаниям во вторичных ореолах сделан прогноз качества руд выделенных объектов. Сравнение прогнозных оценок содержаний с цифрами средних концентраций, полученных при расчете разведанных запасов, показывает эффективность подхода, но требует уточнений.

Защищаемые положения:

- Определены параметры и особенности формирования вторичных ореолов в Баимской меднорудной зоне. Установлен фрагментарный характер развития зоны окисления на объектах медно-порфирового оруденения и предложен коэффициент, дополнительный к коэффициенту остаточной продуктивности, позволяющий учесть перераспределение меди в зоне окисления медно-порфировых штокверков при оценке содержаний в рудах по концентрациям во вторичных ореолах.
- 2. Установлены геохимические ассоциации в составе первичных ореолов, соответствующие основным минеральным парагенезисам рудоносных образований порфирово-эпитермальных систем: 1) FeMnAu золотосодержащей пиритовой минерализации порфировой стадии; 2) MoCu халькопирит-молибденитовой порфировой стадии; 3) BiCuSe борнитовой порфировой стадии; 4) SbAsCuSe блекловорудной переходной стадии; 5) ZnPbCdMnAgAu серебро-полиметаллической

субэпитермальной и эпитермальной стадий; 6) TeAuSeAg — золото-теллуридной минерализации эпитермальной стадии.

- 3. По распределению геохимических ассоциаций в первичных ореолах выявлена концентрическая зональность строения порфироволатеральная Находкинской эпитермальной системы. Геохимические ассоциации, отвечающие Cu-Mo-Auпорфировому оруденению, образуют внутреннюю зону, серебро-полиметаллической субэпитермальной — промежуточную, золото-серебряной эпитермальной — внешнюю приповерхностную. Предложен мультипликат AuAgTe/CuMoBiSe 1000, позволяющий разделить области развития эпитермальной золото-серебряной и медно-молибденпорфировой минерализации.
- 4. Определены геохимические показатели $v_1 = \frac{Ag \cdot Pb \cdot Zn}{Cu \cdot Bi \cdot Mo}$ и $v_2 = \frac{Ag \cdot As \cdot Sb}{Cu \cdot Bi \cdot Mo}$, характеризующие вертикальную геохимическую зональность Находкинской порфирово-эпитермальной системы и медно-порфировых штокверков соответственно и позволяющие проводить оценку их эрозионного среза.

Апробация работы. Результаты исследований были представлены на российских и международных конференциях: международной конференции «Современное состояние наук о Земле» (Москва, 2011), XV и XVIII международных симпозиумах имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2011, 2014), конференции «Ломоносовские чтения» (Москва, 2011, 2013, 2014), международном молодежном научном форуме «Ломоносов» (Москва, 2013, 2015), 36-м и 37-м ежегодных международных собраниях «Mineral Deposit Studies Group» (Лестер, 2013, Оксфорд, 2014), XI международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2013), VI всероссийской научно-практической конференции по прикладной геохимии «Интерпретация и оценка разноранговых рудогенных геохимических аномалий в сложных ландшафтно-геологических условиях» (Москва, 2013), Третьей российской молодежной Школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, 2013), IV Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России» (Якутск, 2014), 24-й международной конференции «Goldschmidt» (Сакраменто, 2014), Московской международной школе по наукам о Земле «ISES» (Москва, 2016), Международной молодежной научно-практической конференции «Инновации в геологии, геофизике и географии» (Севастополь, 2016).

По обсуждаемым в работе вопросах опубликовано 5 статей, в том числе 3 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК, и 17 тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертация общим объемом 176 страниц состоит из введения, 6 глав, заключения и 4 приложений. Содержит 35 рисунков, 30 таблиц и список литературы из 156 наименований.

Благодарности. Автор благодарна всем, кто оказывал помощь и поддержку при выполнении работы, и прежде всего научному руководителю Ю.Н. Николаеву. Разносторонние консультации по вопросам минералогии и геологии исследуемого объекта проводили И.А. Бакшеев А.Ф. Читалин. Ценные комментарии И по методике экспрессного рентгенофлуоресцентного анализа и разъяснения по формам нахождения элементов в гипергенном поле получены от Т.Н. Лубковой. Полевой рентгенофлуоресцентный анализ литохимических проб проводился в разные годы в команде с Е.В. Нагорной, М.С. Котовой, Т.Н. Лубковой, Т.В. Поповой, И.В. Балыковой. В вопросах обработки геохимических данных автор консультировалась у И.А. Калько, А.В. Аплеталина, Е.Ю. Охапкиной. За рецензирование работы на этапе предварительной защиты автор благодарна С.А. Воробьеву. Отдельная благодарность — коллективу кафедры геохимии и ее заведующему М.В. Борисову за поддержку в течение всего времени выполнения работы.

1.1.Общие сведения о порфирово-эпитермальных системах

Порфирово-эпитермальные (или медно-порфировые) системы (ПЭС) представляют собой рудно-магматические системы, соответствующие рудным полям и включающие: во внутренних глубинных частях — Cu±Mo±Au порфировые штокверковые руды; на флангах может отмечаться жильная и скарновая полиметаллическая (с Au и Ag, Mn, As) минерализация; в верхних частях — эпитермальная жильно-прожилковая Au-Ag, Cu-As, As-Sb-Hg, S минерализация (Мигачев и др., 2015; Sillitoe, 2010).

Медно-порфировые месторождения поставляют 60% добываемой в мире меди; вместе с медно-молибден-порфировыми месторождениями — 95% мирового молибдена; из них извлекают значительные количества золота, серебра, рения, теллура и элементов платиновой группы.

Концентрации полезных компонентов в этом типе руд низкие: в среднем Cu 0,44% (0,3-2%), Мо 130 г/т (<10-1000 г/т), Au 0,21 г/т (0-1,3 г/т), Ag 2,0 г/т (0-21 г/т) (Singer et al., 2008). Но запасы в них значительные — от $n \cdot 100$ млн т до n млрд т руды. Чаще всего разработку ведут открытым способом, а рудники работают десятки лет (John et al., 2010). Месторождения с запасами меди <1 (в млн т) считают мелкими, 1-5 — средними, 5-10 — крупными, >10 уникальными. По запасам молибдена градация следующая (тыс. т): 1-10 — мелкие месторождения, 10-100 — средние, 100-500 — крупные, >500 — уникальные (Попов, 1977; эта классификация отличается от зарубежной, например, предложенной Cooke et al., 2005). Запасы золота в половине всех известных месторождений составляют 10-100 т, серебра — 100-1 000 т (Попов, 1977), однако известны уникальные случаи типа Грасберг (3 662 т Au) и Бьютт (44 706 т Ag) (Mutschler et al., 1999).

Первым термин «медно-порфировое месторождение» использовал В.Х. Эммонс (Emmons, 1918), до него было распространено описание «вкрапленная медная минерализация», которое, однако, не включало прожилковые руды на рассматриваемых объектах (John et al., 2010). И хотя пространственная связь с порфировыми интрузиями была установлена, генетическая была неясна, — в то время дискуссии по поводу образования медно-порфировых месторождений сводились преимущественно к процессу вторичного сульфидного обогащения.

Артур Парсонс (Parsons, 1933) определил основные черты медно-порфировых месторождений: 1) крупный размер, особенно в горизонтальной проекции, что обеспечивает отработку в большом масштабе по низкой себестоимости открытым или подземным способом; 2) равномерная вкрапленность минералов меди, которая делает более выгодной сплошную, а не селективную, отработку; 3) наличие порфировой интрузии, которая сыграла роль «источника тепла, энергии и, непосредственно или косвенно, металлов, сосредоточенных в месторождении в

настоящее время»; 4) вторичное обогащение, которое может быть и незначительным; 5) граница рудного тела носит экономический, а не геологический характер; и 6) низкое содержание рудного компонента, требующее дробить и концентрировать извлекаемую массу породы в ходе отработки.

С тех пор медно-порфировые месторождения исследовались всесторонне, составив наиболее изученный тип оруденения. Компиляции, посвященные характеристикам порфирового и сопутствующего оруденения, предложены многими авторами, среди них: Titley, Hicks, 1966 (первая дискуссия о поисковых признаках), Lowell, Guilbert, 1970 (первая генетическая модель), Hollister, 1978, Titley, Beane, 1981, Seedorff et al., 2005, Sillitoe, 2005, 2010; Попов, 1977, Павлова, 1978, Перваго, 1978, Кривцов, 1983, Кривцов и др., 1986. Представленный в диссертации обзор написан с использованием перечисленных работ, а также научного отчета Американской геологической службы (John et al., 2010).

ПЭС приурочены к магматическим дугам, формирующимся на конвергентных границах плит — преимущественно субдукционных, но некоторые исследователи предполагают постсубдукционный режим формирования крупных месторождений Новой Гвинеи и Китая (Hou et al., 2011; Richards, 2009, 2013). Часто они группируются в линейные тренды (например, район Чукикамата, Чили) или изометричные кластеры (Бингем, США; Грасберг, Индонезия) (Mihalasky et al., 2015). Поскольку месторождения этого типа формируются в верхней части коры, то их древние представители могли быть уничтожены эрозией к настоящему времени, либо преобразованы вследствие высокого уровня метаморфизма древних территорий (Кривцов и др., 1986), поэтому для 90% известных месторождений определен кайнозойский и мезозойский возраст (John et al., 2010). Большая часть ПЭС ассоциирует с орогенными поясами Тихоокеанского огненного кольца (запад Северной и Южной Америк и западное побережье Тихого океана) и Альпийско-Гималайским орогенным поясом (рис. 1). Некоторые крупные месторождения располагаются в палеозойских орогенах Центральной Азии и востока Северной Америки и, в меньшей степени, в докембрийских террейнах.

ПЭС генетически связаны с многофазным известково-щелочным магматизмом от среднего до кислого состава; практически на всех месторождениях проявлена порфировая фаза. Меднопорфировая минерализация приурочена к завершающей или одной из последних фаз магматического события. Чаще всего ассоциирующие породы — кварцевые монцониты, диориты, гранодиориты, дациты, андезиты, кварцевые диориты и монцониты. Присутствуют интрузивные и тектонические брекчии.

Медно-порфировые месторождения обычно приурочены к небольшим (0,2-0,5 км² в плане) цилиндрическим порфировым штокам или роям даек, которые являются апофизами залегающих глубже плутонов. В плане недеформированные месторождения имеют

эллиптическую форму диаметром 0,1-1 км; вертикальный размах обычно не превышает 1-1,5 км. В разрезе напоминают цилиндр или перевернутую чашу с метасоматически обработанной, но бедной сердцевиной (безрудное ядро).



Рисунок 1. Географическое положение медно-порфировых месторождений мира (no Seedorff et al, 2005)

ПЭС формируются при участии магматогенного флюида, высвобождающегося при неглубоком внедрении штоков порфировых гранитоидов (глубина внедрения тел — 3,5-10 км). Быстрое затвердевание порфиров в условиях низкого давления сопровождается резким увеличением объема свободного флюида, который обладает избыточным давлением и разрушает затвердевшие порфиры и окружающие породы, превращая их в трещинные коллекторы (Кривцов и др., 1986). Образование медно-порфировых месторождений (глубина формирования — 6 км и меньше) является результатом комплекса процессов: магмогенерации; дифференциации, внедрения, кристаллизации и дегазации магм; высокотемпературных реакций между отделившимися флюидами, кристаллизующимся интрузивом, породами рамы, метеорными и другими немагматическими водами; приповерхностных реакций между низкотемпературными метеорными водами и ранее сформировавшимися высокотемпературными минералами.

В большинстве случаев отделяющий от магмы флюид гомогенен и имеет соленость 3-5 мас. % NaCl-экв. С уменьшением давления происходит его разделение (кипение) на высокосоленую жидкую и низкосоленую паровую фазы. Кипение сопровождается гидроразрывами вмещающей породы, поскольку значительно увеличивается объем фаз. Жидкая фаза обогащена хлоридами Na, K и Fe и имеет соленость 35-70 мас. % NaCl-экв., в то время как газовая фаза содержит кислые летучие компоненты, преимущественно SO₂, H₂S, CO₂, HCl и HF. Микроанализ флюидных включений и экспериментальные исследования показывают, что при разделении фаз отдельные элементы селективно фракционируют между гиперсоленой жидкостью и паром. Fe, Zn, Pb, Mn и возможно Mo (Mo в форме оксохлоридного комплекса) концентрируются в гиперсоленой жидкости. Газовая фаза может содержать существенные количества Cu, Au (сульфидные комплексы), Ag и S и значительную часть As, Sb, Te и B (цитируется по Sillitoe, 2010; Heinrich et al., 1999, Seo et al., 2009, Kouzmanov, Pokrovski, 2012). В приповерхностных частях в гидротермальную систему включаются малосоленые (<3 мас. % NaCl-экв.) метеорные и другие немагматические воды.

Отдельные системы имеют срок существования от ста тысяч до нескольких миллионов лет, в то время как кластеры или линейные группы могут оставаться активными в течение 10 млн лет и более (Sillitoe, 2010).

С образование ПЭС тесно связано метасоматическое изменение вмещающих пород. Метасоматиты образуются последовательно (с некоторой оговоркой, касающейся аргиллизитов) и зонально (рис. 2).



Рисунок 2. Модель строения ПЭС с точки зрения распространения рудных ассоциаций и метасоматических изменений (John et al., 2010; Lowell and Guilbert, 1970; сокращения названий минералов приведены на стр. 146)

Первым на глубоких горизонтах проходит калиевый метасоматоз: появляются такие калиевые минералы, как ортоклаз и биотит, и образуется штокверк кварцевых жил и прожилков с пиритом, халькопиритом, борнитом, молибденитом, магнетитом. Среди нерудных минералов осаждаются также ангидрит и кальцит.

По периферии калиевых метасоматитов в результате реакций гидратации, карбонатизации и окисления пород образуется обширное поле пропилитов. Типичную минеральную ассоциацию

пропилитов составляют эпидот, хлорит, актинолит, иллит-серицит (в зависимости от температуры); сульфидов мало.

Также на медно-порфировых месторождениях выделяют ранние натрий-кальциевые и натровые метасоматиты; грейзены (в корневых частях систем); скарны (при наличии в раме карбонатных пород; могут нести рудную минерализацию).

За ними следуют серицитовые изменения, которые характеризуются замещением минералов вмещающих пород тонкокристаллической светлой калиевой слюдой (серицит; в верхних и внешних частях серицитовой зоны слюда образуется при пониженных температурах и представляет собой Fe-Mg-содержащий фенгит, который обычно ассоциирует с хлоритом) и кварцем, небольшим процентом пирита, гематита и рутила. Кристаллизуются халькопирит, пирит, сфалерит, тетраэдрит и второстепенные количества галенита, марганцовистых карбонатов. Турмалин, ангидрит — обычны. Серицитовые метасоматиты либо окружают, либо секут центральную зону калиевых метасоматитов.

Аргиллизиты образуются на протяжении всего времени формирования ПЭС, следуют по температуре за серицитовыми изменениями и являются приповерхностными метасоматитами, локализуясь в верхних частях зон серицитовых и калиевых изменений. Это глинистые метасоматиты: смектит или каолинит замещают плагиоклаз; хлорит частично замещает мафические минералы. Также кристаллизуются иллит, кальцит и, в небольших количествах, сульфиды, среди которых преобладает пирит.

Образование вторичных кварцитов (продвинутых аргиллизитов) является кислым гидролитическим изменением с выносом щелочей и основных катионов и образованием водных силикатов алюминия (пирофиллита, диккита, каолинита), локально — андалузита, алунита, топаза, диаспора, корунда. При выносе алюминия формируются кварцевые литокапы. Эти метасоматиты образуются кислыми флюидами, богатыми серой и осаждающими пирит, ковеллин, дигенит, энаргит, теннантит, борнит в ассоциации с алунитом.

Прогрессивное понижение температуры системы одновременно с эрозией палеорельефа приводит к характерному наложению (телескопированию) и частичному до полного замещению ранних типов метасоматитов и руд поздними. В сильно телескопированных системах продвинутые аргиллизиты проникают в верхние части порфировых штоков и их корневые части могут проникать на глубину более 1 км (Sillitoe, 2010).

Объем затронутых метасоматозом пород значительно превышает объем минерализованной зоны: метасоматиты могут простираться на 10 км и более от центра меднопорфирового месторождения и на 10 км глубже палеоповерхности.

Основная масса сульфидной минерализации приурочена к калиевым и серицитовым метасоматитам. Первичная медная минерализация представлена халькопиритом, борнитом и

халькозином; второстепенными медными минералами являются теннантит-тетраэдрит, энаргит, ковеллин. Основной минерал молибдена — молибденит. Золото и серебро содержатся в борните и халькопирите; рений заключен в молибдените. Рудные сульфиды присутствуют в виде рассеянной минерализации во вмещающих породах, в прожилках и жилах, в матрице брекчий. Борнит, халькопирит и молибденит обычно распространены в ассоциации с гидротермальным кварцем, пиритом, КПШ, биотитом, магнетитом и калиевой слюдой. Основными жильными минералами являются кварц, ангидрит, кальцит.

Если в раме ПЭС присутствуют карбонатные породы, то с медно-порфировыми месторождениями формируются: 1) ближние Cu±Au и, реже, удаленные Au и/или Zn-Pb скарны (например, Au-содержащие скарны Фортитьюд (Fortitude skarn) на Коппер Кэньон, Невада; Meinert et al., 2005); 2) месторождения карбонатного замещения полиметаллического состава с Ag±Au (например, Людвиг (Ludwig Mine) в ассоциации с медно-порфировым месторождением Йерингтон, Невада; John et al., 2010); 3) удаленные стратиформные вкрапленные концентрации золота на периферии систем (например, месторождение Мелко (Melco) в 5 км от Бингем, Юта; Landtwing, 2010). Эти месторождения обычно образуются под сравнительно непроницаемым экраном и, следовательно, стратифицированы, хотя круто- и пологозалегающие разломы также являются рудоконтролирующими структурами.

В пропилитовых ореолах медно-порфировых систем развиваются субэпитермальные (переходные к эпитермальным) Zn-Pb-Ag±Au жилы, контролируемые разломами и трещинами (например, ПЭС Минерал Парк, Аризона; Lang, Eastoe, 1988).

Сопутствующие эпитермальные месторождения, о которых речь пойдет ниже, даются в классификационных терминах, предложенных Дж. Хэденквистом (Hedenquist et al., 2000): high, intermediate и low sulfidation (соответственно, HS, IS и LS). В переводе на русский термины звучали бы как высоко-, промежуточно- и низкосульфидизированные типы, однако в российской геологоразведке их чаще употребляют в виде английских аббревиатур. Эти типы образуются в различающихся обстановках, что находит свое отражение в составе сульфидных парагенезисов. Некоторые их характеристики приведены в табл. 1.

Хотя сохранившиеся части литокапов как правило безрудны, иногда в них присутствуют эпитермальные Au, Ag и/или Cu месторождения HS типа. Более глубинные уровни месторождений HS обычно характеризуются полиметаллическим оруденением и богаты сульфосолями меди (энаргит, люцонит–фаматинит). Представлены в виде жил, секущих медно-порфировые руды (например, Cu-Ag(-Au) жилы, наложенные на Cu-Mo штокверк месторождения Розарио, Чили; Masterman et al., 2005). В других случаях эпитермальная минерализация образуется на расстоянии от медно-порфировых месторождений (до нескольких

км): как Лепанто относительно месторождения Фар Саус-ист, Филиппины (Hedenquist et al, 1998).

Zn-Pb-Ag±Cu±Au месторождения типа IS, содержащие марганцовистые карбонаты, родонит и кварц, встречаются в пределах литокапов, обычно на удалении от месторождений типа HS (жилы Виктория выше упомянутой системы Лепанто-Фар саус-ист, Филиппины; там же), иногда плавно переходя в них. Эпитермальные жилы IS типа являются малоглубинными (глубина формирования <1 км) аналогами субэпитермальных Zn-Pb-Cu-Ag±Au жил, локализованных вблизи медно-порфировых месторождений (Sillitoe, 2010).

Р. Силлито не включает месторождения LS типа в модель строения ПЭС. Однако, некоторые LS месторождения, ассоциирующие с щелочным магматизмом в тектоническом режиме растяжения, демонстрируют свою связь с глубже залегающими порфировыми рудами (Sillitoe, Hedenquist, 2003). Они содержат пару пирит и арсенопирит в полосчатых жилах кварцхалцедон-адулярового (±кальцит) состава. Медь содержится в низких концентрациях (< 100-200 г/т) в форме халькопирита или, реже, блеклых руд. Может встречаться пирротин.

Таблица 1

HS	IS	LS				
Соленость флюидов, мас. % NaCl-экв.						
1-20	1-14	<1-2				
Ключевые минералы ассоциирующих метасоматитов						
Кварц, алунит/фосфаты и сульфаты надгруппы алунита; кварц, пирофиллит/диккит	Серицит; адуляр не типичен	Иллит/смектит, адуляр				
Жильный карбонат						
Отсутствует	Обычен, в том числе Mn-содержащий	Присутствует, но не Мп				
	Ключевые сульфиды					
Энаргит, люцонит, фаматинит, ковеллин (окисленная магма) Акантит, антимонит (восстановленная магма)	Сфалерит, галенит, тетраэдрит-теннантит, халькопирит	Второстепенные арсенопирит ± пирротин, сфалерит, галенит, тетраэдрит–теннантит, халькопирит				
	Количество сульфидов, об. %					
10-90	5->20	<1-10				
	Фазы Те и Ѕе					
Теллуриды — обычны, селениды — локально	Теллуриды — локально, селениды — не типичны	Теллуриды — локально, селениды — обычны (субщелочная магма)/не типичны (щелочная магма)				
Главные металлы						
Au-Ag, Cu, As-Sb, Ag, Sb, Sn	Ag-Au, Zn, Pb, Cu	Au±Ag				
Пробность золота						
Падает в ряду HS-IS-LS						

Некоторые отличительные характеристики типов эпитермальных месторождений (no Sillitoe, Hedenquist, 2003; Corbett, Leach, 1998)

При широком разнообразии проявления тех или иных характеристик медно-порфировые месторождения обладают рядом сходных черт, которые объединяют в типовые геологопоисковые модели. Среди элементов моделей: интрузивная рама; порфировая продуктивная магматическая фаза; брекчиевые тела, надстраивающие штокообразные порфировые интрузивы по вертикали; метасоматиты; штокверковые трещинные системы, охватывающие штоки и породы рамы (Кривцов и др., 1986). Сравнение типовой модели с реально наблюдаемыми обстановками нахождения месторождений позволяет заключить, что главные отклонения выражаются в изменении формы рудных тел и порфировых интрузивов, а также типов руднометасоматической зональности (Мигачев, Шишаков, 1988).

Несмотря на глубокую изученность отдельных месторождений и наличие обобщающих моделей, некоторые вопросы из мира ПЭС остаются неосвещенными (John et al., 2010). Из тех «белых пятен», что относятся к поисковым и разведочным интересам, можно назвать:

- определение границ ПЭС по минералогическим и геохимическим признакам мы не имеем данных о системах целиком, поскольку бурение проводят только в привлекательных для промышленности частях (Henley, Berger, 2000);
- поиск слепого и дезинтегрированного оруденения, в том числе с помощью реконструкции истории палеотеррейнов;
- изучение условий образования экзотических медных месторождений, в том числе с целью поиска источника меди (см. раздел 1.3);
- прогноз зон вторичного сульфидного обогащения по данным о длительности циклов эрозии и тектонической истории;
- определение векторов физических, химических, изотопных признаков для локализации медного оруденения.

В то же время многие академические исследователи из-за низкого финансирования вынуждены фокусироваться на узкоспециализированных и ультрасовременных темах, а не на рутинной работе, необходимой для оценок минеральных ресурсов в региональном масштабе (John et al., 2010).

1.2. Геохимическая зональность порфирово-эпитермальных систем

Картина распределения рудных компонентов и элементов-спутников определяется внутристадийной зональностью отложения минералов и характером пространственной взаимосвязи между стадиями (гипо-/мезотермальной, переходной субэпитермальной и эпитермальной). В генерализованном виде приведена на рис. 2, где указанные минеральные ассоциации характеризуют зональность медно-порфирового оруденения, за исключением

удаленных полиметаллических жил с Au-Ag, которые могут формироваться как на субэпитермальном, так и эпитермальном этапах.

В работе Кривцова и др., 1986 приведен более детальный ряд: обобщенная зональность минеральных ассоциаций имеет следующий порядок от центра ПЭС к ее внешним частям: 1) молибденит-пирит-магнетит; 2) молибденит-борнит-пирит-магнетит; 3) молибденит (борнит)-халькопирит-пирит-магнетит; 5) халькопирит-пирит-магнетит; 4) (борнит)-халькопирит-пирит-магнетит; 5) халькопирит-пирит-магнетит; 6) халькозин-халькопирит-пирит-гематит; 7) галенит-сфалерит-халькопирит-пирит; 8) пирит. Энаргит- и люцонит-содержащие минеральные парагенезисы, известные на некоторых месторождениях, занимают позицию между ассоциациями 6 и 7.

Ряд рудной зональности в терминах химических элементов приводит Павлова, 1978 (снизу вверх): $Fe^{3+} - Mo(Cu) - Cu(Mo) - Cu(Au) - Fe^{2+}(Au) - Pb - Zn - (Au, Ag). Cu и Au порфирового штокверка обычно тесно коррелируют, и стоит добавить, что первичные борнитовые твердые растворы могут вмещать до 50% больше золота, чем халькопиритовые (Simon et al., 2000; Kesler et al., 2002). Р. Силлито (Sillitoe, 2010), ссылаясь на моделирование массопереноса, выполненного Candela, Holland, 1986, пишет, что отложение молибденита в некоторых случаях происходит не только позднее, но и пространственно разобщенно относительно большей части Cu<math>\pm$ Au руд, поэтому часто корреляция концентраций Cu и Mo незначима.

Первичные и вторичные ореолы Cu±Mo±Au медно-порфировых месторождений имеют протяженность и ширину в первые километры. Для их оторочки характерно обогащение Zn-Pb-Ag±Mn±Au, соответствующее эпитермальной минерализации, локализующейся, как правило, в пропилитах, однако та же ассоциация характерна и более контрастна для сопутствующей скарновой минерализации.

В случае сохранности литокапов в их составе транслируется та же зональность, что характерна для глубоких уровней ПЭС. Аномальный ореол Cu-Au±Ag располагается над глубже залегающим медно-порфировым штокверком. Главное различие между Cu-Au зонами медно-порфировых месторождений и литокапов состоит в широком распространении медных сульфосолей в последних, а значит и в повышенных содержаниях As±Sb. Кроме того, литокапы характеризуются высокими, хоть и непромышленными, содержаниями Bi, W, Sn, Te. Для HS минерализации литокапов характерно увеличение отношения Cu/Au вниз по разрезу. Благороднометальное оруденение HS типа характеризуются меньшими содержаниями Zn, Pb, Ag и Mn, чем первичные ореолы рудных тел IS типа.

В качестве примеров в табл. 2 дано описание рудной зональности в терминах геохимических рядов, геохимических или минеральных ассоциаций некоторых крупных меднопорфировых месторождений и ПЭС. Помимо разнообразия типов сопутствующей

17

минерализации, обращает на себя внимание вариация в положении молибденитовой зоны медно-порфировых штокверков.

Таблица 2

Примеры минералого-геохимической зональности некоторых медно-порфировых месторождений мира

Месторождение или рудный район	Рудная зональность
Актогай (и его спутники Айдарлы и Кызылкия), Казахстан	Концентрическая зональность: безрудное кварцевое ядро окружено халькопирит-пиритовой зоной (типоморфная геохимическая ассоциация CuMoAg), внешняя зона — пиритовая оторочка в пропилитах (CoW). На периферии Cu штокверка отмечаются сегменты со свинцово-цинковой минерализацией (ZnPbBi(Ag)). Количественными параметрами, характеризующими зональность объектов, являются показатели PbZn/CuMo, PbZn/CuAg, PbZnBi/CuMoAg, численные значения которых варьируют в пределах от 10 ⁰ -10 ² в надрудных и краевых пересечениях до 10 ³ -10 ⁵ в осевых и корневых настях ПЭС (Поисковые молели 1992)
Бингем, Юта, США	Концентрическая зональность: Си-Мо-Аи тело Бингем Кэньон обрамляется пиритовой зоной, за ней следует внешняя Pb-Zn оторочка и далее — Au-As с месторождениями вкрапленного золота Мелко (Melco) и Барниз Кэньон (Barneys Canyon) в 7 км от Бингем Кэньон. Для собственно медно-порфирового штокверка характерно безрудное ядро, которое по латерали и вверх по разрезу переходит в молибденитовую зону; за ней следует медная оторочка. (Cunningham et al., 2004)
Район Бэттл Маунтин, Невада, США	Медно-порфировое месторождение Коппер Кэньон образует ореол состава Cu-Au-Ag, за которым по латерали следует Au-Ag зона с Au- содержащими скарновыми месторождениями Фортитьюд и Феникс, далее — Ag-Pb-Zn зона с полиметаллическими жилами, завершает — Sb- содержащие жилы в 8 км от Коппер Кэньон. (Kotlyar et al., 2005)
Бахо де ла Алумбрера, Аргентина	Пустое ядро обрамлено зоной калиевых метасоматитов, с которыми ассоциирует Cu-Au оруденение. Распределение Мо — кольцом вокруг области медной минерализации. Pb-Zn жилы единичны и тяготеют к границе распространения калиевых изменений. (Proffett, 2003)
Бату Хиджау, Индонезия	Концентрическая зональность: центральная Сu-Au зона, за ней Мо и удаленная область с повышенными концентрациями Pb-Zn-Au-Ag-As-Fe. Дифференциация в распределении железа: ближняя к порфировым рудам магнетитовая зона и дальняя — пиритовая. Отношение Au/Ag от центра ПЭС к периферии растет от 1-2 до >50. В ПЭС входят периферийные полиметаллические жилы Бамбу (Bambu) и Телук Пуна (Teluk Puna). (John et al., 2010)
Бьютт, Монтана, США	Постепенный переход между зонами: центральная медная зона Главной стадии; промежуточная — Cu-Zn; периферическая зона Mn-Pb-Zn-Ag. (Meyer et al, 1968)
Вэлли Коппер, Канада	Концентрическая зональность относительно безрудного кварцевого ядра: богатая медная зона сменяется областью повышенных содержаний молибдена, за которыми развивается цинковая оторочка. Рудный район включает пять Cu-Mo-порфировых месторождения. (McMillan, 2005)

Месторождение или рудный район	Рудная зональность
Грасберг, Индонезия	Главная медная стадия Cu-Au халькопирит-борнит-пиритового состава; молибденит распространен на глубоких горизонтах. Оторочку составляет так называемый парагенезис тяжелых сульфидов, в котором преобладает пирит. Смешанные медные руды HS типа являются второй продуктивной стадией, накладываются на внешние зоны Главной стадии
Йерингтон, Невада, США	и выходят за ее пределы. (Pollard, Taylor, 2002) Рудный район включает четыре медно-порфировых месторождения. В центральной зоне месторождения Йерингтон преобладает рудный парагенезис магнетит-борнит±халькопирит/дигенит. Внешняя зона представлена ассоциацией халькопирит±магнетит±пирит. Оторочка — пиритовая. Энн-Мейсон включает крупную центральную халькопирит±борнитовую зону с внешней пиритовой оторочкой. Из
	ассоциирующих месторождений — скарны, месторождения карбонатного замещения, Au-Cu жилы (HS?). (John et al., 2010)
Коунрад, Казахстан	Ряд геохимической зональности снизу вверх: Zn–Co–Pb–Bi–Ag–Mo–Cu– Hg–W–Sn–As–Ba–Sr. (Матвеев, 1981)
Мургальская зона, Чукотка	Латеральная зональность: приуроченность ореолов Си и Мо к центральным частям рудоносных массивов, Pb и Zn — к их периферии. Вертикальный ряд зональности снизу вверх: Ba–Co–Zn–Pb–Cu–Mo–Ag. (Сабельников, Лебедев, 2014)
Ою Толгой, Монголия	В строении медно-порфирового месторождения выделяются борнитовые ядра, окруженные халькопиритовой зоной; выше по разрезу — HS руды пирит-энаргитового состава; приповерхностная зона — гипергенная ковеллиновая. (Crane, Kavalieris, 2012)
Пулан, Китай	Ряд геохимической зональности снизу вверх: Mo-W-Au-Cu-Ag-Zn; значения показателя зональности AgZn/MoW падают с глубиной. (Yongqing et al., 2008)
Фар Саус-ист, Филиппины	Си-Аи зоны концентрично обрамляют кварц-диорит-порфировые дайки и интрузии. В ПЭС входит Au-Ag HS месторождение Лепанто и Au-Ag IS жилы Виктория. (Hedenquist et al., 1998)
Эль-Сальвадор, Чили	Ядерная часть борнит-халькопиритового состава, окружена пирит- халькопиритовой зоной, за которой следует пиритовая оторочка. Под центральной борнит-халькопиритовой зоной вскрывается безрудное ядро. Поздние жилы с халькопиритом, борнитом, энаргитом, теннантитом, сфалеритом, галенитом единичны. К центру месторождения увеличивается показатель Cu/Fe; с глубиной уменьшается отношение S/Cu+Fe. Из ассоциирующих — медно- порфировое и месторождения экзотической меди (на самом Эль- Сальвадор значительно развита халькозиновая зона вторичного сульфилного обогашения). (Watanabe, Hedenquist, 2001)

При поисках медно-порфирового оруденения нахождение сопутствующих руд несет важную полезную информацию: наличие того или другого вида типов минерализации указывает на сохранность ПЭС и уровень ее эрозионного среза. Помимо этого, решение задачи по выявлению минералого-геохимической зональности оруденения помогает восстановить последовательность рудоотложения на конкретном объекте.

1.3. Зона окисления медно-порфировых месторождений

С момента, когда рудные тела обнажаются на дневной поверхности, они подвергаются выветриванию, и этот процесс способен сформировать минералого-геохимическую зональность в строении рудной залежи (Смирнов, 1951).

Начальным агентом выветривания является поверхностная вода, обогащенная растворенным O_2 и окисляющая сульфиды (типичные реакции, проходящие в зоне гипергенеза сульфидных месторождений приведены в табл. 3). В процессе окисления образуется серная кислота, которая в свою очередь запускает дальнейшее разложение сульфидов. В кислой среде свои агрессивные окисляющие свойства начинает проявлять ион Fe³⁺, действующий даже эффективнее кислорода (Blanchard, 1968; Sillitoe, 2005). При окислении сульфидов и выносе металлов их концентрации в зоне выщелачивания существенно падают, и типоморфными минералами здесь становятся гетит, ярозит, гематит.

Таблица З

Окисление				
Пирит	$FeS_2 + 3,5O_2 + H_2O = Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+$			
	$\text{FeS}_2 + 3,75\text{O}_2 + 0,5\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}^{3+} + \text{H}^+ + 2\text{SO}_4^{-2-}$			
	$FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O = 15Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+$			
	$Fe^{2+} + 0,25O_2 + H^+ = Fe^{3+} + 0,5H_2O$			
Халькопирит	$CuFeS_2 + 4O_2 = Cu^{2+} + Fe^{2+} + 2SO_4^{2-}$			
	$CuFeS_2 + 16Fe^{3+} + 8H_2O = Cu^{2+} + 17Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+$			
Халькозин	$Cu_2S + 2,5O_2 + 2H^+ = 2Cu^{2+} + SO_4^{2-} + H_2O$			
	$Cu_2S + 2Fe^{3+} = CuS + Cu^{2+} + 2Fe^{2+}$			
Ковеллин	$CuS + 2O_2 = Cu^{2+} + SO_4^{2-}$			
	$CuS + 8Fe^{3+} + 4H_2O = Cu^{2+} + 8Fe^{2+} + SO_4^{2-} + 8H^+$			
Энаргит	$Cu_3AsS_4 + 8,75O_2 + 2,5H_2O = 3Cu^{2+} + HAsO_4^{2-} + 4SO_4^{2-} + 4H^+$			
	$Cu_{3}AsS_{4} + 35Fe^{3+} + 20H_{2}O = 3Cu^{2+} + 35Fe^{2+} + HAsO_{4}^{2-} + 4SO_{4}^{2-} + 39H^{+}$			
Обогащение				
Пирит	$5 \text{FeS}_2 + 14 \text{Cu}^{2+} + 14 \text{SO}_4^{2-} + 12 \text{H}_2\text{O} = 7 \text{Cu}_2\text{S} + 5 \text{Fe}^{2+} + 17 \text{SO}_4^{2-} + 24 \text{H}^+$			
Халькопирит	$CuFeS_2 + Cu^{2+} + SO_4^{2-} = 2CuS + Fe^{2+} + SO_4^{2-}$			
	$5CuS + 3Cu^{2+} + 3SO_4^{2-} + 4H_2O = 4Cu_2S + 4SO_4^{2-} + 8H^+$			

Типичные реакции окисления и восстановления при гипергенном преобразовании сульфидных месторождений (Смирнов, 1951, Blanchard, 1968, Sillitoe, 2005)

Часть металлов, мигрирующих из зоны выщелачивания, закрепляется в виде оксидов, карбонатов и сульфатов — так образуется зона окисления, легко идентифицируемая при поисковых работах. Распространенные минералы здесь следующие: меди — малахит, азурит, брошантит, халькантит, антлерит, хризоколла, куприт, тенорит; железа — гетит, гематит; молибдена — ферримолибдит; свинца — англезит, церуссит; цинка — смитсонит; марганца — пиролюзит, родохрозит, псиломелан.

На восстановительном барьере (как правило, ниже уровня грунтовых вод, где, к тому же, уменьшается проницаемость пород) металлы осаждаются на первичных сульфидах с

образованием халькозина, борнита, ковеллина, вторичных галенита и сфалерита и других минералов, которые определяют зону вторичного сульфидного обогащения (ВСО). В верхних частях зон ВСО происходит полное замещение первичных сульфидов вторичными, в нижних — частичное, в виде оторочек или трещин заполнения. Здесь металл может концентрироваться настолько, что сама по себе зона ВСО будет представлять больший промышленный интерес, чем проторуда, и медь занимает особое положение среди других металлов сульфидных месторождений благодаря исключительно резко проявленной способности к образованию вторичных сульфидов (Смирнов, 1951). Обогащение меди в зоне ВСО по сравнению с первичными рудами может достигать трехкратного увеличения концентраций (Sillitoe, 2005), на некоторых североамериканских медно-порфировых месторождениях — восьмикратного (Titley, Marozas, 1995). Более 50% извлекаемой меди в мире — из гипергенных зон ВСО. Обогащение Мо, Au, Ag в результате выветривания медно-порфировых месторождений не упоминается, хотя мобильные комплексы эти элементы образуют (John et al., 2010).

Параметры зон по данным о медно-порфировых месторождениях юго-запада Северной Америки и Анд оцениваются следующим образом: зона выщелачивания — мощность $0-n\cdot100$ м; зона окисления — мощность $n\cdot10-<200$ м, может достигать 300 м, содержание Cu 0,34->1%; зона ВСО — мощность $n\cdot10-n\cdot100$ м, до 750 м, содержание Cu 0,4-1,7% (цитируется по John et al., 2010).

Р. Силлито (Sillitoe, 2005) группирует факторы формирования зоны ВСО в локальные и региональные. К локальным относятся:

1) геометрия рудного тела — для образования мощной зоны ВСО необходимо окислить и переотложить значительную массу первичных руд, а это возможно в случае протяженных на глубину рудных тел;

2) структурный контроль — определяет проницаемость пород для эффективного нисходящего движения металлоносных растворов;

3) минералогия сульфидов — фундаментально важно соотношение пирита (и пирротина) и сульфидов меди: оптимально отношение пирит/халькопирит или пирит/халькозин от 4 до 5:1, поэтому наиболее благоприятными поставщиками материала для зоны ВСО являются области серицитовых и аргиллизитовых изменений; также пирит является субстратом для осаждения ионов меди по типу обменной реакции в зоне ВСО;

4) минералогия метасоматитов — определяет проницаемость пород и наличие кислотного буфера (в противовес нейтрализации кислых гипергенных растворов); благоприятными вновь являются зоны серицитовых метасоматитов и аргиллизитов, хотя пористость таких пород невысока.

Региональные факторы:

5) время — длительность образования зон выщелачивания и зрелых зон ВСО оценивается в 0,5-9 млн. лет;

6) тектоническая история — например, поднятие территории способствует опусканию уровня грунтовых вод, а значит, окислению подвергаются ранее недоступные сульфидные залежи;

7) климатические условия — даже в регионах вечной мерзлоты сезонная оттайка провоцирует кратковременные гипергенные процессы окисления и обогащения; при этом в аридном климате продукты зоны окисления сохраняются лучше;

 скорость эрозии — прежде всего зависит от количества осадков и крутизны склона; для образования и сохранности зоны ВСО необходимо, чтобы денудация происходила медленнее, чем окисление и переотложение металлов;

9) геоморфология как комбинация тектонического, климатического и эрозионного факторов.

В этой же работе Р. Силлито отмечает поисковые минералогические особенности: черные минералы и минералоиды меди в зоне окисления (купрум-вад, неотокит) являются признаком минерализованной зоны с низкими содержаниями меди. Среди вторичных минералов зеленого цвета хризоколла преобладает в зонах с наибольшими содержаниями меди. Сульфат-гидраты и гидроксисульфаты указывают на окисление пиритоносных зон обогащения. Гидроксихлориды, судя по месторождениям Чили, развиваются в экстремально аридных условиях. Халькозин образуется гипсометрически выше ковеллина. С.С. Смирнов пишет, что оксиды меди часто являются индикаторами окисляющихся зон ВСО, так как вторичные сульфиды в своем составе не имеют достаточно серы, чтобы перевести имеющуюся в них медь в подвижный сульфат, и она закрепляется в виде окислов (Смирнов, 1951).

При значительном латеральном движении металлоносных растворов и осаждении металлов на геохимических барьерах образуются так называемые экзотические месторождения меди. В качестве примера можно привести месторождение Дамьяна (8 км от медно-порфирового Эль-Сальвадор, Чили), содержащего 52 млн т руды при Cu 0,27%. Его основными минералами являются купрум-вад и хризоколла; второстепенными — малахит, азурит, куприт, самородная медь, бирюза, либетенит (гидроксифосфат меди) (Sillitoe, 2005).

Перераспределение металлов и соответствующее изменение минералогического состава, сопровождающие окисление сульфидных руд, должны приниматься во внимание как во время поисков, так и на этапе оценки рудопроявлений. Так, например, обнажающаяся в полотне канав минерализация может отвечать как неизмененным рудам, так и какой-либо части зоны окисления или зоне ВСО. Продуктивность или содержания на рассматриваемом рудном интервале могут быть соотнесены с параметрами руд на глубоких горизонтах только с использованием соответствующих поправок. Если канавой вскрывается зона выщелачивания, то для расчетов перехода к неизмененным гипогенным рудам должен использоваться

22

повышающий концентрацию меди коэффициент; если вскрыта зона вторичного сульфидного обогащения — понижающий. То же должно учитываться при расчете коэффициента остаточной продуктивности, когда продуктивность вторичного ореола предполагается относить к продуктивности рудного интервала, а является он существенно гипергенно переработанным или представляет неизмененные руды — ответ на этот вопрос должен быть получен заранее.

1.4.Поиски медно-порфирового и сопутствующего оруденения

За последнее десятилетие в Тихоокеанском кольце открыто около 30 месторождений цветных и благородных металлов, две трети которых — медно-порфировые и золото-серебряные эпитермальные (Sillitoe, 2013).

При поисках и разведке ПЭС привлекают различные методы и их комплекс (Sinclair, 2007). Применение геологических методов связано с крупным размером медно-порфировых месторождений и огромным объемом пород, зонально затронутых метасоматическими изменениями. В региональном масштабе геологический прогноз сводится к поиску порфировых интрузий среднего и кислого составов на территориях со структурной позицией островных и континентальных дуг. Геохимические методы оказываются эффективными благодаря тому, что ПЭС образуют остаточные ореолы значительной площади. Среди используемых геофизических методов перечисляются метод вызванной поляризации, позволяющий локализовать сульфидные рудные тела; магнитотеллурический метод на звуковых частотах с управляемым источником, дающий оценку латеральной и вертикальной протяженности ПЭС; гамма-спектрометрия, применяемая для определения контуров калиевого метасоматоза.

Собранный статистический материал (Sillitoe, 2013; Стружков и др., 2008) свидетельствует, что основным методом поисков, приведшим к открытию большинства месторождений цветных и благородных металлов Тихоокеанского пояса, являются геологическая съемка и поисковое «исхаживание» перспективных площадей (рис. 3). Одним из основных условий открытий стало использование многофакторных прогнозно-поисковых моделей месторождений (Sillitoe, 1995).

Несмотря на появление изощренных аналитических геофизического методик, обработки инструментария И экспоненциального роста производительности данных, современные достижения в области геологических, геохимических, геофизических и дистанционных методов не повлияли существенно на число открытий (Holliday, Cooke, 2007). К открытиям приводили рутинная геохимическая съемка и, в гораздо меньшей степени, наземная геофизика (Sillitoe, Thompson, 2006, Стружков и др., 2008).

Наиболее часто при геохимических поисках ПЭС проводят литохимическую съемку по потокам и вторичным ореолам рассеяния. Реже привлекают гидрохимические, биогеохимические (эффективны в ландшафтах пустыни) и атмохимические (поиски скрытого оруденения) методы.

Для выделения области метасоматически измененных пород изучают распределение петрогенных И микроэлементов в рыхлых отложениях или образцах пород. Например, по метасоматическому который индексу, представляет собой отношение подвижных элементов к консервативным (Са, Na, K к Zr, Ti, Al), возможно оконтуривание серицитовых ореолов ПЭС (Urqueta et al., 2009). Для локализации минерализованных зон используют, как минимум, данные о содержаниях Си, Мо, Аи, Ад.



Рисунок 1. Гистограммы, демонстрирующие эффективность поисковых методов в открытии месторождений цветных и благородных металлов в Тихоокеанском поясе в 1969-2003 гг. (по Sillitoe, Thompson, 2006).

Значительная часть новых месторождений была выявлена при заверке геохимических аномалий. Открытия крупнотоннажных объектов в подавляющем большинстве случаев были сделаны благодаря геохимическому опробованию обнажений и структурного элювия методом пунктирной борозды. Лишь в одном случае (Си-Аи порфировое месторождение Бату Хиджау, Индонезия) к открытию привело использование сравнительно нового метода анализа геохимических проб по потокам рассеяния — анализа на золото путем полного цианирования пробы мелкозема массой 2 кг (Стружков и др., 2008).

1.5. Обзор применения рентгенофлуоресцентного анализа в геологоразведке

Рентгенофлуоресцентный метод анализа (РФА, XRF) основан на получении и интерпретации спектров вторичного характеристического излучения атомов, возбуждаемых первичным рентгеновским (длина волны 10⁻²–10² Å) излучением источника. В качестве источника излучения используются рентгеновские трубки и нестабильные изотопы. Разложение вторичного излучения, испускаемого анализируемым веществом, осуществляется в

24

спектрометрах кристаллами-монохроматорами (волнодисперсионный метод) или полупроводниковыми детекторами (энергодисперсионный). Полученная информация о длине волны или энергии излучения, а также о его интенсивности — основа качественного и количественного рентгенофлуоресцентного анализа.

Разработка рентгенорадиометрического метода (PPA¹) для анализа проб минерального сырья была начата еще в 1957 г. во Всесоюзном научно-исследовательском институте минерального сырья (ВИМС) под руководством А.Л. Якубовича. При каротаже разведочных скважин метод был впервые применен в 1962 г. сотрудниками ЛГУ В.А. Мейером и В.С. Нахабцевым. Исследования по использованию РРА для геологического опробования руд в условиях естественного залегания при эксплуатационной разведке и отработке месторождений поставлены Всесоюзным научно-исследовательским институтом разведочной геофизики (ВИРГ) и впервые проведены в 1963 г. под руководством А.П. Очкура на редкометальных и полиметаллических месторождениях Средней Азии. В 1969 г. метод был внедрен на оловорудных месторождениях Дальнего Востока и Приморья (Леман, 1978, Щекин, 1998).

Это было первое поколение рентгенофлуоресцентных спектрометров, в схеме которых в качестве источника возбуждающего излучения выступали нестабильные изотопы, а анализы на различные элементы необходимо было делать последовательно, со сменой фильтров (Ida, 2004).

В середине 1970-х гг. для нужд геологоразведки были разработаны спектрометры второго поколения. В них применялся пропорциональный счетчик, и приборы требовали ручной калибровки.

Третье поколение рентгенофлуоресцентных анализаторов появилось в 1980-е гг. В них впервые был использован полупроводниковый детектор, а в микропроцессоре реализован метод фундаментальных параметров, который позволял корректировать результаты с учетом матричного и межэлементного влияния.

В 1990-е гг. произошло существенное уменьшение размеров приборов, что было связано с разработками в области персональных компьютеров, детекторов и источников питания. Наиболее успешно сконструированными и широко применяемыми детекторами стали полупроводниковые, высокочувствительные Si-PIN (кремниевый детектор, в котором полупроводник заключен между р- и п- типами кремниевых прослоек) и SDD (silicon drift detector — кремниевый дрейфовый детектор). Охлаждение таких детекторов было осуществлено за счет эффекта Пельтье, а значит, при эксплуатации больше не требовался жидкий азот или высоковольтные вентиляторы. Так появилось четвертое поколение анализаторов.

¹ Рентгенорадиометрический анализ является частным случаем рентгенофлуоресцентного анализа, когда в качестве источника первичного рентгеновского излучения выступают нестабильные изотопы.

XRF-спектрометры четвертого поколения массово производятся приборостроительными компаниями Bruker Corporation, Skyray Instrument Inc., ThermoFisher Scientific (США), Horiba, Ltd., Olympus Corporation (Япония), Oxford Instruments plc (Великобритания) и другими в стационарном и переносном вариантах (Николаев и др., 2013а). Декларируемые производителями характеристики спектрометров сходны.

Портативные XRF-анализаторы широко применяются в геологоразведке. В частности, при литохимических поисках и разбраковке керна скважин на участках скарнового и колчеданного полиметаллического, сульфидного никелевого, титаномагнетитового, золотого, редкоземельного, ниобиевого и других типов оруденения (Карась и др., 2013, Левченко и др., 2015, Somarin, 2013, Arne et al., 2014, Cheng, 2014, Gazley et al., 2014, Simandl et al., 2014, Vaillant et al., 2014, Yuan et al., 2014).

Работа портативных рентгенофлуоресцентных приборах на сопровождается методологическими исследованиями. По стандартным образцам оценивается правильность измерений (Hall et al., 2014), либо показания приборов сравниваются с результатами повторного анализа проб иными аттестованными лабораторными методами — ПКСА, ІСР, атомноабсорбционным, XRF (Левченко и др., 2015, Somarin, Clifford, 2012, Arne et al., 2014, Simandl et al., 2014, Somarin, 2014, Quiniou, Laperche, 2014). В случае систематических расхождений предлагают калибровочные уравнения, вводящие поправки к результатам оцениваемого рентгенофлуоресцентного анализа (Левченко и др., 2015, Arne et al., 2014, Factory set..., 2014, Lemiere et al., 2014, Quiniou, Laperche, 2014). Отдельную группу задач составляют исследования влияния условий съемки на результаты измерений: например, наличие или отсутствие пробоподготовки (гомогенизации пробы, ситования; Somarin, Clifford, 2012, Somarin, 2013, 2014, Quiniou, Laperche, 2014); точечный анализ против непрерывного сканирования интервала обнажения (Simandl et al., 2014); разная длительность съемки (Hall et al., 2014; компромиссом между продуктивностью и необходимой точностью считают длительность анализа одной пробы в 60 секунд); различная увлажненность проб (Quiniou, Laperche, 2014).

В совокупности такая работа проведена Г. Холл с коллегами (Hall et al., 2014). В рамках проекта исследователи оценивают работу пяти портативных спектрометров при анализе набора из 41 стандарта, характеризующегося большой вариацией состава матриц. Авторы работы оценивают значимость корреляции результатов, полученных на портативных спектрометрах, с сертифицированными значениями. По значению коэффициента корреляции Пирсона *r* они выделяют группы элементов, содержания которых с помощью портативного РФА оцениваются лучше или хуже:

− As, Cu, Nb, Pb, Rb, Sr, Y — *r* > 0,9 для нескольких приборов,

– Ba, Mo, Sn, Zn Zr — r > 0.9 для одного прибора,

- Cr, Sb, Se, Th, U r = 0,6-0,8,
- Ag, Cd, Co, Ni, V незначимая корреляция,
- Au, Bi, Cs, Hf, Hg, Pd, Sc, Ta, Te, W в геологических пробах содержатся на уровне мг/т, что либо не определяется приборами, либо дается в г/т и с большим разбросом,
- Cl, P, S неадекватные показания приборов.

Подобная методологическая работа помогает исследователям определиться, какие показания портативных XRF-спектрометров прецизионны, а какие стоит использовать лишь на качественном уровне. Необходимо помнить, что вторичное излучение от легких элементов обладает малой энергией и слабым проникающим эффектом. При прохождении вторичного луча через воздушную прослойку между образцом и детектором, его интенсивность падает еще больше. По этой причине для повышения точности анализа содержаний легких элементов требуется создание вакуума в части прибора от трубки до образца до детектора, что обычно реализуется в виде гелиевой камеры.

В отечественной практике геохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния XRF анализ пока занимает скромное место, несмотря на то, что обладает рядом преимуществ: отсутствие сложной пробоподготовки, простота в эксплуатации, высокая экспрессность и точность в определении широкого круга химических элементов — от Mg до U (см. раздел 4.2).

1.6. Медно-порфировые руды в России и изученность Баимского золото-меднорудного района

Хотя большая часть мировых запасов меди сосредоточена в месторождениях меднопорфирового типа, российская сырьевая база демонстрирует иную статистику. Основу медных запасов России составляют сульфидные медно-никелевые (40% запасов; прежде всего Норильский рудный район), стратиформное медистых песчаников (22%; месторождение Удокан в Забайкальском крае) и колчеданные месторождения (19%; Южный и Средний Урал, например, месторождение Гайское в Оренбургской области; Северный Кавказ) (О состоянии..., 2013, 2014).

Месторождения медно-порфирового геолого-промышленного типа известны в России на Урале (Биргильдинское, Вознесенское, Зеленодольское, Лекын-Тальбейское, Ново-Николаевское, Салаватское, Ягузак), Камчатке (Красногорское, Туманное), в Южной Сибири (Киялых-Узень, Кызык-Чадр) и Магаданской области (Лора, Накхатанджинское, Осеннее, Скалистое). И только четыре детально разведанных медно-порфировых месторождения концентрируют 10% сырьевой базы меди страны: Михеевское и Томинское (Южный Урал), Ак-Сугское (Тыва) и Песчанка (Баимская металлогеническая зона, Чукотка). Михеевское медно-порфировое месторождение числится на балансе с запасами меди (тыс. т) категорий ABC₁ 1245,3 (среднее содержание Cu 0,44%), C₂ 297 (0,46%) и забалансовыми 205,5 (0,39%). На Томинском месторождении на

01.01.2014 г. учтены запасы меди (тыс. т) категорий ABC₁ 743,3 (0,47%), C₂ 793,2 (0,46%) и забалансовые 195,7 (0,43%). В Государственном запасе учтены запасы меди месторождения Ак-Суг категорий ABC₁C₂ 2350 тыс. т со средним содержанием металла 0,75%. Месторождение Песчанка поставлено на Государственный баланс с запасами меди (тыс. т) категорий ABC₁ 2606,2 (0,83%), C₂ 1124,5 (0,88%) и забалансовыми 1798 (0,52%). (Мигачев и др., 2015). Наибольшими запасами обладает последнее и входит в число крупных медно-порфировых месторождений.

Потенциальным конкурентом Песчанки является месторождение Малмыж в Хабаровском крае, где в настоящее время активно ведется разведочное бурение (Читалин и др., 2013а). На Государственный баланс оно поставлено с запасами Си С₁ 1300 тыс. т и С₂ 3900 тыс. т (Наиболее важные открытия..., 2015).

С выявлением крупнотоннажных медно-порфировых объектов связаны также основные перспективы наращивания ресурсов золота, как это было с месторождениями Грасберг (Индонезия), Пэббл (США), Ою Толгой (Монголия). У нас этот тип месторождений в качестве источника золота не был популярен, но геологоразведочные работы на месторождении Песчанка и подсчет там 230 т Аu позволяют думать, что в будущем значимость таких объектов в сырьевой базе России возрастет (О состоянии..., 2013).

И.Ф. Мигачев с коллегами оценили вулканоплутонические пояса России с точки зрения перспективности на обнаружение медно-порфировых месторождений и выделили группы перспективных и потенциально перспективных (Мигачев и др., 2015). К перспективным они относят Увельский пояс (Урал), Новониколаевско-Карамысовский (Зауральское поднятие), Саяно-Тувинский (Алтае-Саянская область), Забайкальский, Западно-Сихотэ-Алиньский и Курьинский (Северо-Восток России). Последний из названных включает Баимскую зону.

По оценке Американской геологической службы в J_3 - K_1 породах Колымского региона, с которыми может быть связано Cu-(Au-Mo)-порфировое оруденение, остаются неоткрытыми порядка 56 млн т меди, 1,5 млн т Mo, 1400 т Au и 18 тыс. т Ag (Mihalasky et al., 2015).

Планомерное изучение Баимской зоны началось в 1956 г., когда в ходе работ геологорекогнисцировочной партии масштаба 1:500 000 было установлено несколько россыпных и коренных проявлений золота, что определило постановку дальнейших съемок и поисков (цитирую по Читалин и др., 2014ф²; положение Баимской зоны и обсуждаемых участков приводится в следующем разделе на рисунках 4, 5, 6). При проведении геологосъемочных работ масштаба 1:200 000 Верхне-Баимской партией в 1960-1962 гг. появились первые сведения о наличии медного оруденения, была составлена подробная стратиграфическая шкала, выделена

28

² Фондовые материалы в ссылках отмечены буквой «ф» после года публикации и приводятся в конце списка литературы отдельной группой.

сложно дифференцированная Верхне-Баимская интрузия, пройдены канавы для опробования кварцевых жил на золото-серебряном месторождении Весеннее.

В 1965-1967 гг. силами I, II и III Весенних поисково-разведочных партий начато детальное изучение месторождения Весеннее. Выделен Баимско-Омчакский субвулканический комплекс, с которым предположительно генетически связаны рудные тела. Показано, что левобережье р. Баимка имеет золото-серебряную полисульфидную специализацию, а правобережье медную. Отмечены различия в пробности золота россыпей лево- и правобережья: 667-782 и 868-890 соответственно. Установлена стадийность рудообразования: 1) мезотермальные штокверковые руды меди и молибдена; 2) мезо-эпитермальная золото-полиметаллическая стадия; 3) формация гематит-кварцевых жил. По преобладающему рудному минералу оценен срез участков: в этом ряду они перечисляются от более сохранившегося к менее: Весенний Север - Весенний - Прямой - Находка - Малыш. На глубину рассмотрено распределение ограниченного круга элементов (Cu, Mo, Zn, Pb, Ag, Au) (Шавкунов, Теребенина, 1966ф; Шавкунов, 1967ф; Шавкунов и др., 1969ф).

Когда в 1971 г. IV Весенней поисково-оценочной партией было описано оруденение медно-порфирового типа с медно-молибденовой минерализацией в пределах Находкинского штока монцодиоритового состава, на территории Баимской зоны начался следующий этап — поиски и оценка комплексных порфировых руд.

В 1972 г. Находкинской поисково-оценочной партией на правобережье руч. 3-й Весенний было выявлено ранее неизвестное тело с золото-молибден-медной минерализацией. Отмечена вертикальная гипергенная зональность, выраженная в развитии зон выщелачивания, окисления и вторичного сульфидного обогащения (Сокиркин и др., 1973ф).

С 1973 по 1975 год в пределах Баимского рудного узла проводились научноисследовательские работы по теме «Критерии перспективной оценки эвгеосинклинальных зон северной части Яно-Колымской складчатой области на полиметаллическое медно-молибденовое и золотое оруденение» Колымским отрядом ВСЕГЕИ. В выводах отряда по Баимскому рудному узлу высказывается мысль, что наиболее богатые содержания меди и молибдена следует ожидать в местах пересечения разломов северо-западного направления с разломами других направлений, в участках сочленения дайковых поясов и зон развития эксплозивных и малых тел порфировых интрузий. Авторы отчета связывают оруденение с орогенными гранитоидами габбро-монцонитсиенит-диоритовой формации.

Песчаный, II и III Находкинский поисково-оценочные отряды работали в 1975-1977 гг. на территории месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля:

На месторождении Песчанка определены минеральные ассоциации, соответствующие стадиям рудоотложения: 1) кварц-пирит-серицитовая, 2) кварц-молибденит-пирит-

халькопиритовая, 3) кварц-калишпат-молибденит-халькопирит-борнит-халькозинблеклорудная, 4) кварц-флюорит-карбонат-сфалерит-галенит-пирит-халькопирит-энаргитовая, 5) безрудная кварц-карбонатная. Последовательность отложения металлов — Fe-Mo-Cu-Fe-Zn-Pb. Проявление гипергенной зональности авторы отчетов по работам определили как незначительное: «мощность зоны окисления, как правило, не превышает 4-5 м, увеличиваясь лишь в зонах дробления до 10-15 м»; зона смешанных руд (ниже зоны окисления) имеет мощность от 20-30 м до 50-60 м в зонах разломов и повышенной трещиноватости; зона ВСО отсутствует (Сокиркин, 1977ф). При этом сопоставлены содержания меди первичных руд с содержаниями в рудах зоны окисления с поверхности: 0,67% против 0,35-0,4% (Сокиркин, Каминский, 1979ф).

Для медно-порфирового оруденения Находкинского месторождения предложена схема латеральной минералогической зональности, которую считают законченной, если рассматривать месторождение совместно с Весенним золото-серебряным рудопроявлением. Рудные тела характеризуются ассоциацией пирит-халькопирит-борнит-молибденит-магнетит; к периферии происходит увеличение доли пирита, вплоть до образования пиритовой оболочки. Внешняя, относительно меднорудных тел, зона образована полиметаллической минерализацией (Сокиркин, 1978ф).

В 1976-1977 гг. в верховьях р. Баимка проводил работы Ярганский геолого-съемочный отряд. Установив золото-медно-молибденовое оруденение на участке Таллах, авторы работ объединили территорию от участка Находка до месторождения Песчанка в Находкинскую зону. Егдыгкычский³ массив и Верхне-Баимскую интрузию они определили как единый раннемеловой интрузивный комплекс (Долинин и др., 1978ф).

В период 1978-1982 гг. Песчаный поисково-оценочный отряд проводил работы на участке Лучик в северной части Баимской зоны и оценил его как периферийную часть более значительного рудного поля, скрытого под долиной р. Баимка, для выявления которого необходимо проведение детальных геофизических работ и поискового бурения (Каминский, Баранов, 1982ф).

Детальное бурение в 1982-1984 гг. на месторождении Песчанка позволило уточнить его рудную зональность, снизу вверх и от центра к периферии: молибденитовая рудная зона – халькопирит-борнит-блекловорудная (в породах кварц-серицитовой подзоны) – пиритхалькопиритовая (в породах кварц-серицит-хлоритовой подзоны) – полисульфидная (практически в любых типах изменений) – пиритовая (в пропилитизированных породах). С учетом минералогической стадийности авторы отчетов вывели ряд геохимической зональности: W – Be – Sn – Mo (As) – Cu, Au – Cu, Ag, Sb, Au – Ag, Pb, Zn. Впервые были проведены расчеты

³ Возможное написание этого чукотского топонима: Егдэгкыч, Егдыгкыч, Егдыгкич.

коэффициентов остаточной продуктивности меди и выдвинуты предположения об их зависимости от геоморфологических факторов (Каминский и др., 1984ф).

В течение 1981-1985 гг. центральную часть Баимской металлогенической зоны исследовала партия ЦНИГРИ. Был проведен структурно-формационный анализ территории. Были разработаны поисково-оценочные критерии для медно-порфирового оруденения Баимской зоны, оценены перспективы на этот тип руд, составлена типовая поисковая модель, подсчитаны прогнозные ресурсы. Признаки медно-порфировой системы, находящейся в состоянии благоприятного среза, указаны следующие: 1) интрузивная рама, 2) порфировые интрузивы, 3) брекчиевые тела, 4) зоны гидротермально-метасоматических изменений, 5) зоны рудной минерализации и промышленные рудные тела, 6) ореолы пиритизации, 7) сопряженная минерализация.

Партия подтвердила характер рудной зональности месторождения Песчанка, а о золотоносности стадий сделала следующие выводы: пиритные гало практически не содержат благородных металлов (только в случае изоморфной примеси золота в халькопирите, находящимся здесь спорадически и наложенным более поздней пирит-халькопиритовой ассоциацией); основной объем благородных металлов приходится на пирит-халькопиритовую и халькопирит-борнит-блекловорудную ассоциации. Срез месторождения, по факту обнажения на поверхности борнитовых руд, оценили как значительный. Перечисляя признаки медно-порфирового оруденения, авторы отчета о работах указали: «к прямым признакам оруденения должны быть отнесены и первичные и вторичные комплексные аномалии, в зависимости от степени эродированности месторождения отвечающие началу (величина среза значительная), середине (эрозией вскрыты рудные тела) или концу (надрудные части минерализованных зон) следующего ряда: W – Be – Sn – Mo – Cu (Bi) – Pb, Zn – Au, Ag – As, Sb» (Шишаков и др., 1983ф).

Касательно штокверка участка Находка авторы отчетов (вероятно, вследствие недостаточного объема бурения) отметили, что халькопирит-борнит-блекловорудная и молибденитовая ассоциации могут ожидаться на глубинах в 400-500 м. Галенит и сфалерит они обнаружили только вне контура рудных тел. Медное оруденение участка Прямой было интерпретировано ими как юго-восточное продолжение тела на Находке. По эрозионному срезу участки ранжированы следующим образом: Песчанка (наиболее эродированный объект) – ІІІ Весенний – Находка. Стадийность эпитермального рудообразования на месторождении Весеннее авторы отчета свели к двум стадиям (по сравнению с шестью, данными у Шавкунова и др., 1969ф) — полиметаллической и золоторудной, «разорванным во времени и пространстве» (Шишаков и др., 1986ф).

31

В 1982-1985 гг. Песчаный поисково-оценочный отряд проводил общие поиски в центральной части Баимской зоны и детальные поиски в восточной части Находкинского рудного поля (Погорелов и др., 1985ф, Погорелов, Гаман, 1985ф). Авторы работ считают, что наиболее продуктивные на медно-порфировое оруденение участки локализуются либо в пределах диагональных разломов, либо в узлах пересечения диагональных и поперечных разломов, с продольными, согласными с простиранием Егдыгкычской зоны разломов. Наиболее рудоносным назвали Песчанкинский разлом. Для Находкинского рудного поля, которое предложено считать единой медно-порфировой системой, была разработана типовая модель латеральной геохимической зональности: для центральной части рудного поля характерно преобладание медного оруденения, которое по периферии обрамляется участками развития молибденовой минерализации. Площади развития ореолов золота располагаются по окраине рудного поля. Ореолы серебра несколько смещены относительно золота в сторону внешней части медно-порфировой системы. Цинк трассирует эндоконтактовые зоны на западном и южном флангах медно-порфировой системы, причем его ореолы частично совмещаются с площадями развития золота и серебра. Свинец занимает внешнюю зону, общий характер его распределения сходен с цинком. Ряд геохимической зональности (от центра к периферии) следующий: Си-Мо-Аи-Аg-Zn-Рb. Для всех участков с медно-порфировым оруденением эрозионный срез оценен как малый; наибольший относительный срез определили для участка III Весенний, меньший — для участка Находка и минимальный — для участка Прямой. Установлено, что мощность зоны окисления над рудным телом достигает 20-40 м, хотя в отдельных случаях не превышает первых метров. Для одной из канав авторы обращают внимание на разброс содержаний меди в полотне канавы и в соответствующих скважинах: 0,1% против 0,5-0,7%.

В 1991-1999 гг. проводились разведочные работы на месторождении Весеннее, с целью подсчета запасов золота и серебра. Были установлены параметры, изменчивость строения и условия залегания рудных зон и отдельных жил, минеральные формы нахождения полезных ископаемых.

В конце 1990-х годов составлена и утверждена в НРС ВСЕГЕИ Легенда Олойской серии листов ГГК-200 второго издания. В Легенде и на региональных картах систематизированы современные сведения о геологическом строении и полезных ископаемых территории.

В начале 2000-х годов выполнены прогнозно-поисковые работы по объекту «Оценка перспектив благородно-метального оруденения Бургахчанской площади», охватывающие и южную часть Баимской рудной зоны. В результате в пределах Баимской зоны выявлено рудопроявление руч. Правый Светлый (цитируется по Читалин и др., 2014ф).

Исследования были возобновлены «ГДК Баимская» и подрядными организациями в 2009 г. Целевым назначением работ стали: поиск медно-порфировых месторождений, локализация и оценка запасов и прогнозных ресурсов меди и попутных компонентов на эталонных участках, флангах месторождений и перспективных рудных полях в центральной части Баимской металлогенической зоны. Были проведены поисковые геологические и геохимические работы, выполнено детальное минералого-геохимическое картирование в пределах Находкинского рудного поля (ООО «Геохимпоиски CB»; Николаев, 2010ф, 2011ф, Николаев, Шатнов, 2012ф, 2014ф); произведены геологоразведочные работы с подсчетом запасов на месторождении Песчанка и Находкинском рудном поле (ЗАО «Сибгеоконсалтинг»). Автор диссертационной работы принимала участие в указанных проектах с 2010 г. и главные результаты, касающиеся геохимических поисков, приводит в последующих главах.

Хотя геологическое строение и минералогия руд Баимской зоны освещены не только в фондовой, но и в опубликованной литературе (например, Мигачев и др., 1984, Каминский, 1987, 1989, Волков и др., 2006), сведения о геохимических характеристиках неполные. Не проведена типизация аномальных геохимических полей, свойственных разным типам оруденения. Расчет коэффициентов остаточной продуктивности, способный существенно изменить оценку прогнозных ресурсов, был произведен предшественниками только для месторождения Песчанка и участка Лучик. Авторы многих отчетов указывают на значительное перераспределение меди в приповерхностном слое, и хотелось бы детально изучить характеристики зоны окисления и ее влияния на оценку ресурсов. И, наконец, имея на руках последние результаты анализа литохимических, сколковых, штуфных, бороздовых проб и керна скважин, пройденных как на известных (эталонных), так и на перспективных участках, мы получаем возможность изучить геохимическую зональность порфирово-эпитермальных систем Баимской зоны. Ключевым подспорьем при решении этих задач станет комплексное использование результатов геологических наблюдений, современных минералогических и термобарометрических исследований, выполненных коллегами.

2.1. Физико-географическая характеристика

Баимская меднорудная зона находится на территории Билибинского муниципального района Чукотского автономного округа Дальневосточного федерального округа к юго-западу от г. Билибино. Поисковые и разведочные работы проводились на отдельных участках в пределах лицензированной территории, называемой Баимской площадью (рис. 4).



- границы муниципальных районов

Рисунок 4. Положение Баимской площади на административной схеме Западной Чукотки

Район расположен в пределах низкогорья, расчлененного водотоками бассейна среднего течения р. Большой Анюй. Гидросеть района разветвленная и принадлежит бассейну р. Баимка с ее притоками и рр. Черная, Агнаутала и Бургахчан. Рельеф территории расчлененный и сглаженный средне-низкогорный. Включает такие геоморфологические единицы Анюйского нагорья, как кряж Бахихчан (междуречье Большой Анюй – Баимка) и хребет Мариинских гор

(междуречье Баимка – Ненкан). Абсолютные отметки водоразделов достигают 800-840 м, максимальная отметка 1 134 м (г. Весенняя). Относительные превышения составляют до 400-500 м. Водораздельные поверхности широкие, сглаженные. Обнаженность района плохая, коренные выходы пород встречаются очень редко.

Климат района резко континентальный — с суровой и продолжительной зимой, прохладным и коротким летом. Минимальная температура (-58° C) приходится на декабрьфевраль, максимальная (+34° C) — на июль. Количество осадков не превышает 300 мм в год. Снежный покров образуется в конце августа – начале сентября и сходит к концу июня. Высота снежного покрова достигает 60-70 см. Реки замерзают в конце октября, и сток происходит в таликовых зонах с образование наледей; вскрываются в мае-июне. Питание рек осуществляется при таянии снежного покрова и за счет дождей.

Район находится в пределах развития многолетнемерзлых пород. Мощность мерзлотной зоны по различным данным оценивается в 130-150 м и более. Сезонно талый слой имеет непостоянную мощность, варьирующую в пределах 0,3-2,0 м. Оттайка начинается в июне и достигает максимума в сентябре. Безнапорные грунтовые воды развиты повсеместно, период их стока составляет 110-130 дней в году. Воды таликовых зон развиты ограниченно лишь в пределах долин крупных водотоков. Воды мягкие слабокислые. На площади развития сульфидной минерализации воды ручьев кислые, непригодные для питьевого водоснабжения.

Район относится к тундрово-таежным областям с сочетанием среднегорных (на юге, юго-востоке) и низкогорных (равнинных) (на севере, северо-западе и в межгорных депрессиях) ландшафтов. В последних типично развитие криогенно-гравитационных форм с наличием в рыхлых отложениях миграционного льда в виде сети прослоек и прожилок жильного льда в трещинах коренных пород, залегающих на небольшой глубине.

Почвы глеетаежные и таежные мерзлотные. В долинах водотоков и на склонах до абсолютных отметок 400-500 м произрастает лиственничный лес. Здесь развит подлесок, состоящий из ольховника, березки, тальника. Выше по склонам лиственница сменяется кедровым стланником. В пойменной части долин и таликовых зонах встречаются чозения, тополь, древовидная ива. Почвы покрыты мхами, ягодными кустарниками, карликовой березой.

2.2. Геологическое строение Баимской зоны и минеральный состав оруденения

Баимская зона расположена в юго-восточной части Олойского металлогенического пояса, который контролируется одноименной раннемеловой палеоостроводужной системой, расположенной между Южно-Анюйским и Омолонским террейнами (раздел написан по Читалин и др., 2014ф с дополнениями).

В геологическом строении Баимской площади (рис. 5, 6) широко развиты позднеюрские туфогенно-терригенные отложения, слагающие крупную брахиантиклиналь, слабо вытянутую в север-северо-восточном направлении. Они имеют пестрый состав И фациальную простиранию. В нижней невыдержанность по части разреза чередуются пачки преимущественно осадочных пород (песчаников, туфопесчаников, туффитов и туфов среднего состава) и вулканитов (лавобрекчии и разнообломочные туфы андезибазальтов). Среднюю часть разреза слагают разнообразные туфы с примесью бомб и лапиллей и лавы андезитов, редко андезибазальтов. В составе верхней части разреза (волжский ярус) доминируют зеленовато-черные агломератовые и лапиллиевые туфы андезибазальтов и трахибазальтов, переходящие туфоконгломераты, прослоенные нередко В единичными потоками андезибазальтов, линзами и пластами среднеобломочных туфов основного состава, туфопесчаников, песчаников.

Раннемеловой конгломерат-алевролит-песчаниковый угленосный комплекс развит вдоль восточного обрамления площади, где с угловым несогласием перекрывает юрские отложения.

Вулканогенно-осадочные образования прорваны интрузивными и субвулканическими телами, которые относятся к интрузивным комплексам:

- позднеюрскому баимскому габбро-долеритовому (J₃b),
- раннемеловому весеннинскому гранодиоритовому (K₁vs),
- раннемеловому егдыгкычскому габбро-монцонит-сиенитовому (K₁e),
- раннемеловому омчакскому гранодиоритовому (K₁o).

Баимский J₃b комплекс представлен: габбро-долеритами, габбро и габбро-норитами, габбро-диоритами и их порфиритовыми разностями, базальтами, андезибазальтами, трахиандезибазальтами. Имеет относительно крупные выходы в восточной части площади в виде небольших штоков и штокверков по обоим бортам и в верховьях р. Баимка.

Весеннинский K₁vs гранодиоритовый комплекс выделен в верхнем течении р. Баимка и представлен Верхне-Баимским гипабиссальным массивом. В пределах Верхне-Баимского массива получили распространение Cu-Mo-порфировые и эпитермальные Au-Ag рудопроявления Находкинского рудного поля. Для данного комплекса выделяют две фазы: ранняя фаза представлена диорит-порфиритами; к поздней фазе относят гранодиорит-порфиры, кварцевые диорит-порфириты, субщелочные кварцевые диорит-порфириты и их дайки. Предшественники оценивали возраст этого комплекса как позднеюрский–раннемеловой, но современные U-Pb датировки цирконов из обозначенных пород указывают на раннемеловой возраст (Котова и др., 2012).


Рисунок 5. Схема геологического строения Баимской зоны и положение участков работ (Читалин и др., 2013б, 2014ф)

37



39

Рисунок 6. Геологическое строение центральной части Баимской зоны, охватывающей участки проведения работ (карта составлена Сапегиным А.Г. (Читалин и др., 2014ф) и дополнена с учетом определения возрастов магматических комплексов (Комарова и др., 2015)).

Наиболее крупным геологическим объектом егдыгкычского К₁е комплекса является монцодиоритов, Еглыгкычский массив представляющий собой вытянутое в субмеридиональном направлении тело площадью около 300 км² на правобережье р. Баимка. Становление массива сопровождалось образованием небольших изометричных тел (площадью 0,5-20 км²) и многочисленных даек, а также широким проявлением щелочного метасоматоза. Контактовое воздействие массива на вмещающие вулканогенно-осадочные породы проявилось амфиболовых и пироксен-амфиболовых роговиков. В образовании Мощность ЗОНЫ ороговикования не превышает 500 м. С данным массивом связаны практически все известные рудопроявления и месторождения Баимской меднорудной зоны.

В петротипе Егдыгкычского массива выделено три фазы:

Первая фаза — пироксениты, мелко-среднезернистые габбро и меланогаббро, крупносреднезернистые габбродиориты, диориты, монцодиориты, кварцевые диориты и кварцевые монцодиориты — эти образования распространены на правобережье р. Баимка, вблизи устьевой части р. Егдыгкыч, в междуречье Черная – Егдыгкыч и в бассейне р. Омчак. Эти породы слагают большую часть выделенных относительно крупных массивов и интрузивных тел данного комплекса.

Вторая фаза — кварцевые монцониты, кварцевые монцодиорит-порфиры, монцодиоритпорфиры, кварцевые порфиры и дайки аналогичного состава. Образования имеют локальное распространение, интрудируют породы первой фазы в пределах Егдыгкычского массива, а также прорывают образования весеннинского K₁vs комплекса в верхнем течении р. Баимка.

Третья фаза — мелко-среднезернистые сиениты, граносиениты, кварцевые сиениты, кварцевые сиенит-порфиры. Образуют небольшие изометричные тела и дайки.

Раннемеловой возраст пород был подтвержден исследованием U-Pb системы цирконов и Rb-Sr минеральных изохрон (Котова и др., 2012, Комарова и др., 2014).

Гидротермальные и гидротермально-метасоматические образования, сопровождающие становление егдыгкычского К₁е интрузивного комплекса, представлены кварцевыми жилами, зонами кварц-калишпатовых, кварц-серицитовых метасоматитов и пропилитов. С обширной зоной калишпатового и кварц-серицитового метасоматоза связано медно-порфировое оруденение.

Омчакский К₁о комплекс представлен двумя фазами. Для первой характерны диоритпорфириты, кварцевые диорит-порфириты; для второй — кварцевые порфиры, гранодиоритпорфиры. Тела гранитоидов прорывают вулканогенно-осадочные отложения верхней юры и нижнего мела в междуречье Агнаутала – Правая Песчанка и в верховьях р. Омчак. Предшественники считали этот комплекс позднемеловым, но датировки цирконов из соответствующих пород в верховьях р. Баимка и бассейне р. Омчак соответствуют раннемеловому возрасту (Котова и др., 2012, Комарова и др., 2015).

Полученные в указанных работах индивидуальные возраста магматических пород весеннинского, егдыгкычского и омчакского комплексов близки между собой и, возможно, относятся к единому магматическому импульсу возраста 140,2±0,2 млн лет. Возможно, вместо трех различных раннемеловых комплексов стоило бы выделять различные фазы внедрения Егдыгкычского массива, но более вероятным считается предположение об одновременном внедрении магматических тел из независимых друг от друга очагов в раннемеловой период (Комарова и др., 2015).

Внедрение небольших линзообразных тел и даек андезитов, дацито-андезитов и андезибазальтов субвулканического комплекса позднемелового возраста завершают магматическую активность, проявившуюся на данной территории. Дайки секут все представленные выше интрузивные комплексы, имеют небольшую мощность (1-3 м, редко до 5-10 м) и часто прослеживаются на значительные (сотни метров) расстояния.

В структуре района определяющую роль сыграл магмоконтролирующий Анюйский глубинный разлом, пересекающий территорию в север-северо-западном направлении. На всем протяжении нарушения отмечается его прямолинейность и субвертикальное падение разрывов. Одним из крупных его ответвлений является Егдыгкычский разлом, в котором выделяется ветвь Баимского разлома.

Ширина зоны Егдыгкычского разлома 12-15 км, протяженность более 100 км. Нарушение контролирует размещение интрузивных и субвулканических тел, в том числе тел егдыгкычского К₁е комплекса. В зоне влияния разлома находятся медно-порфировые, полиметаллические и золото-серебряные рудопроявления.

Наиболее крупное месторождение района — Песчанка — приурочено к пересечению Егдыгкычского и оперяющего его субмеридионального Песчанкинского разломов; рудный объект ориентирован вдоль последнего. Песчанкинский разлом определяется как структура растяжения, имеет относительно небольшое протяжение (до 10 км) и при приближении к Егдыгкычскому разлому имеет значительную ширину.

Находкинское рудное поле расположено вблизи сочленения глубинного Анюйского и оперяющего его Баимского разломов. Тектонический план участка осложнен нарушениями субмеридионального простирания, характеризуемыми как структуры растяжения.

В пределах структур Баимской рудной зоны получили распространение разрывные нарушения северо-восточного простирания. С ними связаны линейные зоны серицитовых метасоматитов, которые определяются как сингенетичные рудным процессам: в пределах этих зон происходит перераспределение рудного вещества и изменение минеральных ассоциаций.

На территории Находкинского рудного поля с такими нарушениями связаны эпитермальные кварцевые и кварц-карбонатные жилы, локализующие Au-Ag оруденение месторождения Весеннее.

По результатам исследования флюидных включений, выполненного В.Ю. Прокофьевым (ИГЕМ РАН), установлено, что гидротермальное рудоотложение происходило в широком интервале температур (594–104°С) и давлений (1200–170 бар) из водных флюидов с сильно меняющейся соленостью. Для отложения халькопирит-борнит-кварцевой минерализации характерны высокие температуры начала рудообразующего процесса, явления гетерогенизации флюида, наличие включений хлоридных рассолов, характерное для месторождений медно-порфирового типа. Для доломит-кварц-полисульфидной ассоциации свойственно температуры и концентрации солей, сходные с оруденением субэпитермального (переходного) типа. Жильным родохрозит-высокомарганцевый доломит-кварц-полисульфидной и кварц-кальцит-полисульфидной ассоциациям соответствуют физико-химические параметры, характерные для эпитермального оруденения (Николаев и др., 2016а).

По минеральному составу и результатам изучения газово-жидких включений рудная минерализация Баимской зоны относится к нескольким типам: это молибден-меднопорфировый, субэпитермальный полиметаллический, эпитермальный благороднометальный типов IS и LS, гипергенный. Данные о распространении и составе минерализованных зон приводятся при описании отдельных участков.

Наиболее изученными, как с поверхности, так и бурением на глубину, являются месторождение Песчанка и участки Находкинского рудного поля. Геологическое описание остальных участков основано на результатах геологических маршрутов, либо небольших объемов поискового бурения.

Рудное поле Песчанка включает в себя одноименное месторождение и участки Северная, Западная и Восточная Песчанка. В геологическом отношении оно приурочено к южному блоку К₁е Егдыгкычского массива.

Месторождение *Песчанка* располагается в юго-восточной эндоконтактовой части K₁e Егдыгкычского плутона, сложенного полнокристаллическими монцонитоидами и их порфировыми разностями.

Массив прорывает стратифицированные J₃ туфы и туфолавы дацитов и андезитов, туфопесчаники, алевролиты, андезиты, андезибазальты и базальты. Породы рамы распространены в восточной части участка, безрудны и сильно преобразованы в эпидотамфиболовые роговики.

Выделяемые в составе егдыгкычского К₁е комплекса фазы распределены на месторождении неравномерно: 1) первая фаза (пироксениты, габбро, габбродиориты,

монцодиориты) преобладает по объему; 2) порфировые и порфировидные разности пород второй фазы (монцонит-порфиры, кварцевые монцонит-порфиры, порфировидные кварцевые монцодиориты) получили широкое распространение на месторождении и сыграли главную роль в локализации медно-порфировой минерализации; 3) сиениты третьей фазы локально образуют мелкие дайки или линзовидные тела.

Породы массива прорваны пострудными дайками андезитов позднемелового возраста.

Метасоматические образования, сопровождающие внедрение K₁е комплекса, представлены четырьмя типами пород (от поздних к ранним):

- биотит-кварц-калишпатовыми,

- калиевыми пропилитами (образуют ореол вокруг месторождения шириной 1 км),
- филлизиты двух типов: хлорит-кварц-мусковитовые породы с борнитом и халькопиритом и турмалин-кварц-карбонат-мусковитовые (±фенгит) породы, сопровождающие жилы с полисульфидной минерализацией.

Аргиллизиты достоверно не установлены. Биотит-кварц-калишпатовые породы преобладают по объему и рассечены зонами рудоносных филлизитов с кварцевыми прожилками.

Одновременно с объемным метасоматозом формируются гидротермальные образования, характерные для открытых структур растяжения (полостей и трещин): гнезда, прожилки и жилы кварц-калишпатового, кварц-магнетитового, кварц-сульфидного, карбонатного, кварцкарбонатного, флюоритового, гипсового/ангидритового составов.

Медно-порфировое оруденение представлено прожилково-вкрапленными и прожилковыми рудами с борнитом, халькопиритом, пиритом, в приповерхностной части замещенными вторичными минералами меди (ковеллин). Второстепенными рудными минералами являются блеклые руды и молибденит. Самородное золото (микронные выделения, пробность 756-857) слагает вростки или выполняет трещины в борните и образует тесные срастания с гесситом (Марущенко и др., 2015). С кварц-карбонатными прожилками связана субэпитермальная полиметаллическая рудная ассоциация с галенитом и сфалеритом.

Развитие богатых медных руд определяется интенсивностью трещиноватости и количеством кварц-сульфидных прожилков в общей массе оруденелых метасоматитов. Наиболее богатыми являются интервалы, приуроченные к зонам пересечения меридионального Песчанкинского разлома и оперяющих его северо-восточных разрывных нарушений. На таких участках иногда наблюдается наличие брекчиевых тел с богатой минерализацией.

На площади месторождения выделяют Главный, Центральный и Северный рудные штокверки. В наиболее крупном и богатом Главном штокверке средние содержания меди составляют 0,62%, молибдена — 163 г/т, золота — 0,34 г/т, серебра — 3,8 г/т, рения — 0,07 г/т.

Северная и южная трети участка *Северная Песчанка* сложены монцодиоритами и монцодиорит-порфирами первой фазы егдыгкычского K₁e комплекса. На небольших фрагментах вдоль восточной рамки закартированы выходы вмещающих J₃ и K₁ вулканогенно- и терригенно-осадочных пород. Значительная часть площади перекрыта четвертичными аллювиальными отложениями.

Структурный план участка определяется пересечением Егдыгкычской зоны глубинных разломов северо-западного направления с зоной меридионального Песчанкинского разлома; северо-восточные разрывные нарушения играют здесь, по-видимому, второстепенную роль.

В северной части участка зафиксированы относительно слабые метасоматические изменения пропилитовой и филлизитовой фаций, развитые по диоритовым порфиритам и монцодиоритам (Николаев, Шатнов, 2012ф). Юго-западным краем участка захвачен фрагмент поля более интенсивной пропилитизации, наблюдающейся по внешнему обрамлению месторождения Песчанка, а под аллювием р. Песчанка локально развиты кварц-серицитовые метасоматиты. Здесь по результатам бурения выделен Северный штокверк, входящий в состав месторождения Песчанка.

Участок Западная Песчанка приурочен к центральной части Егдыгкычского массива. На западе участок сложен габброидами, на востоке — монцодиоритами первой фазы егдыгкычского К₁е комплекса. Степень метасоматических изменений пород преимущественно низкая.

На участке выявлено лишь несколько разрозненных точек с убогой или редковкрапленной сульфидной минерализацией (Николаев, Шатнов, 2014ф). В единичных случаях отмечались гипергенные минералы меди и площадная пиритизация.

Участок Восточная Песчанка относится к восточному обрамлению Егдыгкычского массива. Наиболее широкое распространение имеют J₃ туфы и туфолавы дацитов, туфоконгломераты, туфопесчаники, песчаники, алевролиты с прослоями андезибазальтов, которыми сложена центральная и восточная части участка. Интрузивные образования занимают не более трети площади и представлены монцодиритами и сиенит-порфирами егдыгкычского Интрузивные образования повсеместно пропилитизированы, К₁е комплекса. местами превращены кварц-карбонат-хлоритовые И кварц-эпидот-хлоритовые пропилиты. В Интенсивная пропилитизация вулкано-терригенных пород рамы наблюдается в центральной и южной частях участка.

На участке развиты тектонические нарушения северо-западного, северо-восточного и субмеридионального направлений. Главную роль в разрывной тектонике играет северозападное направление, связанное с зоной Егдыгкычского глубинного разлома.

43

Медная минерализация, по данным работ предшественников, приурочена только к восточному эндоконтакту Егдыгкычского массива, где продолжает оруденение месторождения Песчанка.

Находкинское рудное поле (НРП), в которое входят участки Находка, Прямой, III Весенний, Малыш и Весенний (месторождение Весеннее), расположено в районе сочленения региональных магмоконтролирующих разломов — Анюйского, Егдыгкычского, Баимского. Оно приурочено к Весеннинскому магматогенному поднятию в южном замыкании крупной брахиантиклинали, ядро которой находится севернее и представлено Егдыгкычским массивом, а крылья — J₃ вулканогенно-терригенными отложениями.

В геологическом строении доминирует Верхне-Баимский массив, представленный породами весеннинского K₁vs комплекса: диоритами и диорит-порфиритами (первая, преобладающая фаза); кварцевыми диорит-порфиритами и гранодиорит-порфирами (вторая фаза; линейные тела и изометричные штоки). Массив секут лакколито- и лополитоподобные тела K₁e диорит-порфиритов, монцодиорит-порфиров, монцодиоритов, локализующиеся в близмеридиональной полосе шириной около1 км в восточной части Верхне-Баимского плутона. В южной части НРП выделяются штокообразные тела габброидов J₃b комплекса. Вышеописанные интрузивные породы прорываются редкими линзообразными телами и дайками андезитов, андезидацитов и андезибазальтов субвулканического K₂ комплекса, трассирующими зону повышенной трещиноватости северо-западного направления.

Рама — J₃ вулканогенная нижняя и вулканогенно-осадочная верхняя толщи. Нижняя толща развита в западной и южной частях рудного поля и сложена лавами андезибазальтов и андезитов, их лавобрекчиями с редкими прослоями туфов среднего состава. Верхняя толща слагает территорию в крайней восточной и юго-восточной частях НРП. Представлена разностями от туфоконгломератов до туфопелитов. На контакте с Верхне-Баимским массивом породы изменены до альбит-эпидотовых и альбит-биотитовых роговиков мощностью до 100 м.

Раннемеловые интрузивные образования НРП подвергнуты тем же гидротермальнометасоматическим изменениям, что описаны для месторождения Песчанка. Особенностью рудного поля является преобладание кварц-серицитовых метасоматитов при резко подчиненной роли кварц-калишпатовых, спорадическое развитие аргиллизитов в виде узких зон мощностью 2-3 м, а также широкое распространение марганцевой гипергенной минерализации (участки Прямой, Весенний). Здесь проявлены зоны вторичных кварцитов, которые пересекаются кварцевыми прожилками с галенитом, сфалеритом. По данным бурения на глубоких горизонтах фиксируются зоны калишпат-кварцевых пород (Нагорная, 2013).

Молибден-медно-порфировая минерализация Находкинского рудного поля пространственно и парагенетически связана со штоками и мелкими куполами второй фазы К₁е

44

комплекса. Рудные тела представлены штокверками кварцевых и кварц-карбонатных прожилков с халькопиритом, борнитом, блеклыми рудами и молибденитом. Золото в этом типе руд связано с халькопиритом и борнитом.

Субэпитермальное полиметаллическое оруденение представлено сульфид-карбонаткварцевыми жилами и прожилками. Главными рудными минералами являются галенит и сфалерит при подчиненных халькопирите и теннантите-тетраэдрите и редких энаргите, гессите, низкопробном самородном золоте (Бакшеев и др., 2014).

Эпитермальное оруденение представлено только IS типом, локализуется в пределах месторождения Весеннее и описано ниже.

На отдельных небольших участках развита маломощная (около 20 м) зона вторичного сульфидного обогащения с ковеллином, ярровитом, идаитом, минералами группы халькозина (джарлеитом, дигенитом, анилитом) и самородной медью. В гипергенных условиях развиваются сульфаты и фосфато-сульфаты Cu, Al, Fe: брошантит, купроалюминит, антлерит, хотсонит, алюминит, ярозит. Карбонатные минералы распространены существенно меньше и представлены азуритом, сидеритом и родохрозитом. Обилие карбонатов, обогащенных Mn, на южном фланге рудного поля привело к формированию вадов (оксиды и гидроксиды Mn).

Объект *Находка* расположен в центральной части рудного поля и включает два обособленных рудных объекта: линейный медный штокверк, состоящий из двух параллельных залежей, и горизонтально залегающую пластину, переходящую на территорию участка Прямой. Восточнее медно-порфировых рудных тел выделяется золоторудная зона, где содержания золота варьируют от 0,1 до 14 г/т.

Наиболее продуктивная часть рудного тела участка *Прямой* (юго-восток рудного поля) размещается в пределах штока гидротермальных брекчий, среди обломков которых отмечаются окварцованные диорит-порфириты K₁vs и монцодиорит-порфириты K₁e.

Участок *III Весенний* располагается в поле распространения роговообманковых K₁e диорит-порфиритов в северной части Верхне-Баимского K₁vs массива. Медно-порфировая минерализация приурочена к K₁e штоку, где она проявилась в его восточном и западном эндоконтактах.

Участок *Малыш* включает медно-молибден-порфировую минерализацию, ограниченную небольшими участками с повышениями содержаний меди до 0,2-0,4%. Располагается в западной эндоконтактовой зоне Верхне-Баимского массива.

На левобережье р. Баимка в западном обрамлении Верхне-Баимского массива расположено золото-серебряное эпитермальное месторождение IS типа *Весеннее*. Наибольшим распространением на участке пользуются K₁vs диорит-порфириты и кварцевые диорит-порфириты, преобразованные до существенно кварцевых и кварц-серицитовых метасоматитов.

Рудные тела представлены кварц-карбонат-полисульфидными жилами, жильными зонами северо-восточного простирания и тонкопрожилковыми штокверками. Средние содержания полезных компонентов: 2,9 г/т Au, 56 г/т Ag, 0,9% Pb + Zn и 0,15% Cu. Руды сложены высокомышьяковистым пиритом (до 10 мас. % As), сфалеритом, галенитом, халькопиритом, блеклыми рудам (от цинкистого теннантита до серебросодержащего (4 мас. % Ag) цинкистого тетраэдрита), самородным золотом, электрумом и гесситом; редкие минералы — штютцит, пирсеит, акантит. Низкопробное самородное золото (756-857) и электрум (657-743) образуют вростки и трещины в пирите, галените, блеклых рудах и тесные срастания с гесситом (Бакшеев и др., 2014).

Сколковым опробованием плотика полигона отработанной россыпи (Николаев, 2011ф), а затем и бурением было установлено наличие медно-порфирового штокверка на глубоких горизонтах месторождения Весеннее.

На площади рудопроявления Лучик, входящего в состав Юряхского рудного поля, развиты вулканогенные и вулканогенно-осадочные J_3 отложения, интрудированные телом диоритовых порфиритов и штоками монцонитоидов K_1 е комплекса (первая и вторая фазы). В пределах участка метасоматиты представлены пропилитами, филлизитами и вторичными кварцитами. Последние два типа развиты локально и формируют небольшие штокверки кварцевых прожилков. Мощность отдельных зон прожилкования не превышает первых метров. Основной объем метасоматитов составляют калиевые пропилиты, замещающие породы егдыгкычского комплекса.

Штокверковая зона оруденения субширотного простирания приурочена к зонам повышенной трещиноватости в северной части интрузии. Бедное медное оруденение отмечается в трех минерализованных зонах. Представлено преимущественно пиритом и халькопиритом, составляющими до 1% объема. В верхней части разреза отмечаются продукты зоны окисления: халькозин, медная зелень и синь. Минерализованные зоны сопровождаются карбонатными жильно-прожилковыми участками с полисульфидной минерализацией с пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом. При микроскопических исследованиях отмечаются молибденит, кобальтин.

Участок *Топь* расположен в левом борту р. Егдыгкыч, в бассейне его левого притока руч. Топь. Приурочен к западному контакту Егдыгкычского массива, представленному здесь диоритами и габбро первой фазы К₁е комплекса, затронутыми пропилитовыми изменениями. Эндоконтакт массива в меридиональном и северо-восточном направлениях секут К₂ дайки андезитов и андезибазальтов. Рудная минерализация из-за сплошной задернованности площади наблюдается только в плотике полигона старательской отработки. Она связана с зоной интенсивного прожилкования в кварц-биотит-калишпатовых метасоматитах и представлена кварц-халькопирит-пиритовыми и кварц-карбонат-полисульфидными (галенит, сфалерит, халькопирит) прожилками и тонким штокверком из волосовидных трещин с пленками малахита, замещающего халькопирит. При микроскопическом изучении образцов в пирите и халькопирите были отмечены вростки гессита и акантита; акантит также образует тонкие выделения между зернами сфалерита и галенита.

Участок *Егдыгкыч* расположен на правобережье р. Егдыгкыч, в 10 км к северу от месторождения Песчанка. Значимую его часть занимают интрузивные образования первой фазы егдыгкычского К₁е комплекса, представленные монцодиоритами и монцонитами и местами прорываемые дайками кварцевых монцонит-порфиров, монцонит- или монцодиорит-порфиров второй фазы. Породы третьей фазы внедрения имеют спорадический характер, представлены мелкими дайками кварцевых сиенитов.

Площадные гидротермально-метасоматические изменения в пределах участка заключаются в слабой пропилитизации и отмечаются в его центральной и южной частях.

Медно-порфировая халькопиритовая минерализация отличается малыми масштабами и убогими содержаниями рудных компонентов. Пространственно связана с северным окончанием Песчанкинского разлома.

Геологическое строение участка *Куст* (граничит с участком Егдыгкыч на западе) характеризуется широким распространением пород K₁e Егдыгкычского массива (все фазы, от габбро до граносиенитов) на контакте с ороговикованными вмещающими J₃ отложениями. Описанные образования прорываются K₂ дайками андезитов и андезибазальтов.

Монцодиоритовый массив интенсивно разбит тектоническими нарушениями трех главных направлений: север-северо-западного, запад-северо-западного и северо-северовосточного. Встречаются кольцевые тектонические структуры, а так же структуры со сменой простирания.

Метасоматиты на участке Куст представлены следующими типами:

- ранними биотит-калишпат-кварцевыми, широко распространенными в пределах участка;
- локально развитыми эпидот-альбит-хлоритовыми с турмалином, актинолит-хлориткальцит-альбитовыми и кварц-магнетит-хлоритовыми пропилитами;
- редкими кварц-калишпат-хлорит-мусковитовыми филлизитами в виде гнезд и прожилков в пропилитах, сопряженными с борнит-халькопиритовой минерализацией;
- очень ограниченными вторичными кварцитами с магнетитом.

Поисковыми маршрутами выделены две минерализованные зоны дробления с маломощными убогими рудными интервалами (Николаев, 2010ф). В прожилках отмечается тонкая вкрапленность халькопирита и борнита и рассечки пирита. В приповерхностных условиях встречается ковеллин, халькозин и примазки медной зелени по трещинам.

Молибденит, а также галенит и сфалерит встречаются в виде единичных зерен.

Участок *Таллах* приурочен к юго-восточному контакту K₁е монцодиоритов и сиенитов Егдыгкычского массива и северо-западному контакту K₁vs диоритовых порфиритов Верхне-Баимского массива. Центр участка сложен J₃ вулканогенно-осадочными образованиями. Интрузивные образования повсеместно пропилитизированы.

Главную роль в разрывной тектонике играет северо-западное направление Егдыгкычского глубинного разлома. Непротяженные нарушения северо-восточного направления оперяют Егдыгкычский разлом. Разрывные нарушения субмеридионального направления в центральной части участка принадлежат к зоне Песчанкинского разлома.

В поисковых маршрутах (Николаев, Шатнов, 2014ф) на участке выделены небольшие оруденелые зоны и пункты минерализации.

Минерализованные зоны локализованы на северо-востоке участка. Они приурочены к зонам дробления и сульфидизации, развитым по монцодиоритам К₁е и вмещающим туфопесчаникам, песчаникам и алевролитам, затронутым кварц-серицитовым метасоматозом. Кварц-сульфидные прожилки содержат пирит и халькопирит, частично или полностью замещенный вторичными минералами меди. В отдельных штуфным пробах концентрация золота достигает 6,6 г/т.

В западной и центральной частях участка, сложенных интрузивными породами K₁е комплекса, медная минерализация связана с маломощными и протяженностью не более 100-200 м зонами дробления и сульфидизации в пропилитизированных монцодиоритах. В сиенитах в западной части участка выявлен кварцевый штокверк, содержащий редкую вкрапленность пирита.

В результате микроскопических исследований были определены молибденит в ассоциации с халькопиритом, а также полиметаллическая минерализация, представленная галенитом и клейофаном.

В геологическом отношении участок *Омчак* приурочен к юго-восточному флангу пологой брахиантиклинали, сложенной J₃ вулкано-терригенными образованиями и K₁ груботерригенными отложениями.

Интрузивные образования на площади участка представлены диоритовыми порфиритами весеннинского K₁vs, монцодиоритами егдыгкычского K₁e и гранодиоритами омчакского K₁o комплексов. Интрузивные образования K₁vs распространены в основном на северо-западе и юго-востоке участка. Юго-восток участка может рассматриваться как фрагмент выделяемого Омчакского магматогенного поднятия, юго-восточная часть которого сложена габброидами баимского J₃b комплекса, а северо-восточная — гранодиоритами омчакского K₁o комплекса. На участке развиты тектонические нарушения северо-западного, северо-восточного и субмеридионального направлений. Разрывные нарушения субмеридионального направления принадлежат к зоне глубинного Анюйского разлома и распространены на востоке участка. Северо-восточное направление представлено непротяженными разрывными нарушениями, вероятно оперяющими Анюйский разлом.

Метасоматиты участка представлены кальцит-хлорит-фенгит-кварцевыми и кварцадуляр-кальцит-хлоритовыми типами. Все метасоматиты замещают вулканиты.

Медная мелковкрапленная и прожилковая минерализация (халькопирит, редко борнит, халькозин, альгодонит) локализована в линейных зонах трещиноватости, вдоль которых по андезитам, туфопесчаникам и алевролитам развиваются кварц-серицитовые метасоматиты.

На медном рудопроявлении в истоках руч. Правый Светлый микроскопическими исследованиями обнаружены молибденит и самородное золото, где оно слагает вростки до 10 мкм в халькопирите. Его пробность 784-800, что соответствует пробности золота в россыпи, отрабатываемой на ручье в настоящее время. Также в обрамлении медной зоны закартированы аргиллизиты с кварц-карбонатным прожилкованием с галенитом, сфалеритом, акантитом, арсенополибазитом.

В образцах медно-молибденовых руд в бассейне руч. Вилка установлены науманнит, селенистый пирсеит и селенсодержащий галенит, что связано с развитием наложенной эпитермальной минерализации типа LS в адуляр-кальцит-хлоритовых метасоматитов. На водоразделе ручьев Правый Омчак и Вилка, на удалении от медной зоны, в пропилитизированных туфах основного состава развито кварц-карбонатное прожилкование с пиритом, халькопиритом, вторичными минералами меди, сфалеритом, галенитом.

2.3. Ландшафтно-геохимические условия

Значительную часть Баимской площади занимают горно-тундровые (рис. 7, 8) и лесотундровые (рис. 9) ландшафты, приуроченные к хребту Бахихчан, протягивающемуся в северо-западном направлении до р. Ангарка. Подчиненное значение имеют ландшафты пойменных лесов речных долин (см. фотографии на рис. 11). На площади наблюдается вертикальная ландшафтная зональность, проявленная в смене типов ландшафтов снизу вверх: лесные долинные – лесотундровые склоновые – горно-тундровые и гольцовые водоразделов (рис. 8).

Долинные ландшафты верхнего течения pp. Баимка и ее притоков, Омчак с притоками, Левая и Правая Песчанка, руч. Ржавый, Таллах, Топь, Лосиный локально преобразованы в техногенные в процессе длительной отработки россыпных месторождений золота (см. фотографии на рис. 11). Техногенные ландшафты представлены полигонами отработки



Рисунок 7. Горно-тундровые ландшафты осевой части хребта Бахихчан



Рисунок 8. Вертикальная ландшафтная зональность участка Таллах



Рисунок 9. Лесотундровый ландшафт бассейна р. Егдыгкыч

россыпей с отвалами промывки, зумпфами и дамбами, остатками эстакад промприборов, свалками металлоконструкций и деталей механизмов, линиями электропередач и другими элементами инфраструктуры. В результате подготовительных работ на участках россыпной золотодобычи формировались отвалы вскрышных пород, под которыми погребены почвы и растительность нижних частей склонов.

По характеру и плотности растительности выделяются:

- 1. Открытые поверхности. Почвенный слой отсутствует или слабо сформирован. Растительность представлена мхами, лишайниками, мелким кустарником.
- Смешанные поверхности (плотность растительного покрова 15-60%). Почвенный слой развит соответственно площадям распространения растительности. Растительность мохово-лишайниковая, кустарниковая, древесная.
- 3. Закрытые поверхности (плотность растительного покрова более 60%). Почвенный слой мощностью до 1 м, хорошо развит, особенно в речных долинах. Поверхности кочковатые, кочковато-медальонные, заболоченные, с осоковой и древесной растительностью. Преобладает лиственничное редколесье и лиственничные леса, а в поймах рек по таликовым зонам встречаются тополь, ива.

По условиям мерзлотно-гидрогеологического районирования территория относится к площадям сплошного распространения многолетнемерзлых пород (рис. 10). Островное и прерывистое распространение мерзлоты приурочено к долине р. Большой Анюй.



Рисунок 10. Мерзлый грунт, вскрытый по борту р. Егдыгкыч в районе участка Топь

По щелочно-кислотным и окислительно-восстановительным условиям миграции химических элементов развитые на площади ландшафты относятся к двум классам: кислому и кислому глеевому. Кислый класс распространен на водоразделах и склонах, покрытых элювиально-делювиальными образованиями. Кислый глеевый класс развит на пологих задернованных склонах и в долинах рек. По генезису вторичные ореолы медно-порфировых объектов Баимской зоны относятся к остаточным, по фазе — преимущественно к механическим. В то же время, наблюдаемое широкое развитие гипергенных минералов меди на всех изученных объектах Баимской зоны свидетельствует, что роль солевого рассеяния в формировании вторичных ореолов медно-порфировых проявлений достаточно высока, что определяет возможность формирования наложенных ореолов диффузионного типа на закрытых и полузакрытых участках территории.

По развитию генетических типов рыхлых образований выделяются четыре вида ландшафтов:

- Элювиально-делювиальные автономные ландшафты плоских водоразделов и верхних пологих приводораздельных частей склонов с маломощным (≤2 м) покровом рыхлых образований, представленных крупнообломочными развалами и щебнем с песчаноглинистым заполнителем.
- Делювиальные трансэлювиальные ландшафты верхних и средних частей склонов (крутизной 10-15°, редко >15°) с маломощным (≤2 м) покровом рыхлых образований, представленных крупными обломками, щебнем и песчано-глинистой фракцией.
- Делювиально-солифлюкционные ландшафты нижних пологих частей склонов (крутизной 3-10°) и сопряжений с долинами с чехлом рыхлых образований переменной мощности (2-3 м, местами >3 м), представленные обломочно-щебнисто-глинистым материалом с преобладанием тонкой фракции.
- Смешанные аллювиальные, водно-ледниковые и озерные ландшафты, сформированные в тальвеговых частях долин путем аккумуляции и латерального переноса обломочного материала.

Данная классификация была взята за основу при экспрессном ландшафтном районировании территории по признаку крутизны поверхности (рис. 11). Схема была составлена в программном пакете ArcGIS от ESRI (США) на основе цифровой модели рельефа. Оцифрованные в shp-файл изолинии высот с топографической карты масштаба 1:100 000 издания 1980 г. были преобразованы в TIN-поверхность, а затем в растр высот в модуле 3D Analyst. Затем в модуле Spatial Analyst на основе растра высот был создан растр уклона, каждый пиксель которого содержит значение угла наклона поверхности в градусах. Значения угла наклона были разбиты на классы, заимствованные из работы Соколов, Юрченко, 2010. Для обобщенного оконтуривания соответствующих типов ландшафта растр был конвертирован в полигоны (Conversion Tools), границы которых были генерализованы в модуле Cartography Tools. Составленная схема используется для оценки влияния ландшафтного фактора на формирование вторичных ореолов рассеяния (например, их смещения, ослабления).





Участки Находка и Прямой:

техногенный ландшафт долины р. Баимка,





Рисунок 11. Схема ландшафтного районирования территории по признаку наклона склона

Преобладающим типом являются автономные ландшафты плоских водоразделов и трансэлювиальные склоновые ландшафты с небольшой мощностью элювиально-делювиальных образований, не превышающей 2 м. На этих территориях (участки Лучик, Егдыгкыч, Куст, Песчанка, Находкинское рудное поле, Омчак) происходит формирование открытых остаточных ореолов по механизму комбинированного (механическое + солевое) рассеяния. При повышенной мощности делювиально-солифлюкционных образований в плоских долинах ручьев возможны экранирование вторичных остаточных ореолов и их слабая проявленность у поверхности

Для центральной части Баимской меднорудной зоны характерно развитие долинных лесотундровых ландшафтов с высокой (до 100%) плотностью растительного покрова и хорошо развитым почвенным слоем (до 1 м). По проявленности вторичных ореолов площадь таких участков (Топь, Северная Песчанка, север участка Западная Песчанка) относится к типу полузакрытых территорий. Здесь возможно формирование остаточных механических (ослабленных у поверхности вследствие повышенной мощности рыхлых отложений) и сорбционно-солевых наложенных (в том числе оторванных) ореолов. В долинах возможен переход вторичных ореолов в погребенное состояние.

Участок Таллах и южная часть участка Западная Песчанка являются представителями территории с преобладанием горнотундрового ландшафта, где формируются открытые остаточные ореолы. Полузакрытые участки приурочены лишь к нижним частям склонов и долине р. Баимка.

В целом, ландшафтные условия Баимской площади благоприятны для проведения литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния.

3.1.Полевые работы

Полевые геохимические работы включали детальную литохимическую съемку по вторичным и первичным ореолам, поисковые маршруты, опытно-методические работы по определению коэффициента остаточной продуктивности вторичных ореолов. Работу выполняли сотрудники и студенты кафедры геохимии геологического факультета МГУ, сотрудники ООО «Геохимпоиски CB» с опорой на Инструкцию..., 1983. Заказчиком выступала частная организация, ведущая проект поисково-оценочных работ на медь и золото в пределах Баимской перспективной площади.

При съемке *по вторичным ореолам* рассеяния литохимические пробы отбирались по прямоугольным сетям М 1:10 000–1:20 000 100×20, 100×50 и 200×100 м (табл. 4). Профили пробоотбора были ориентированы вкрест господствующего простирания известных и предполагаемых рудных зон: на Находкинском рудном поле закладывалась меридиональная сеть, на прочих участках — широтная. Выход на точку и ее координатная привязка осуществлялись с помощью GPS-навигаторов.

Таблица 4

Участок опробования	Год	Сеть	Ориентировка	Отобрано рядовых проб
Куст	2009	100×20 м	широтная	3 570
Находкинское рудное поле	2010	100×50 м	меридиональная	3 348
Весенний Север	2011	100×50 м	меридиональная	308
Лучик	2011	100×50 м	широтная	1 593
Егдыгкыч	2011	200×100 м	широтная	919
Топь	2011	100×50 м	широтная	693
Северная Песчанка	2011	100×50 м	широтная	1 981
Западная Песчанка	2013	200×100 м	широтная	1 932
Таллах	2013	200×100 м	широтная	2 329
Омчак	2013	200×100 м	широтная	4 818
Песчанка	2015	100×50 м	широтная	1 041
Восточная Песчанка	2015	200×100 м	широтная	1 070

Объем литохимического опробования вторичных ореолов на участках Баимской зоны

В пробу в полотняный мешочек отбиралось 0,3-0,7 кг песчано-глинистого материала обычно элювиально-делювиального и делювиально-солифлюкционного генезиса. Глубина отбора проб определялась мощностью дерново-торфянистого горизонта, широко развитого в нижних частях склонов и в долинах небольших ручьев. На водоразделах и в верхних частях склонов глубина пробоотбора колебалась от 0,1 до 0,3 м, на задернованных участках пологих делювиально-солифлюкционных склонов и долин — от 0,3 до 0,7 м. Проба отбиралась из-под слоя дерна или торфянистого горизонта с помощью лопаты. В мешочек вкладывалась этикетка с кодом маршрута и номерами профиля и пикета точки отбора. Для документации

использовались журналы литохимического опробования, в которые заносились номер и характеристика пробы и описание условий отбора.

На площади участков литохимической съемки проводилось контрольное опробование в объеме 3-5% от общего числа проб.

Просушенные на солнце пробы просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм. После просеивания материал пробы массой около 150 г упаковывался в конверты из крафтовой бумаги. По порядку разложенные конверты (после проведения полевых аналитических работ) укладывались в коробки для транспортировки в лабораторию на анализ.

Местами опробование вторичных ореолов было невыполнимо из-за их перекрытия отвалами вскрыши полигонов россыпной золотодобычи. Небольшие площади, подлежащие опробованию, были представлены зачищенными до коренных пород плотиками, и в этом случае производилось сколковое опробование *первичных ореолов* по сети 50×50 м (участки Малыш и Весенний Находкинского рудного поля). Масса сколковых проб составляла 0,5-1 кг, к каждой пробе отбирался образец. В мешочек к сколку помещалась этикетка с кодом маршрута и номером пробы, в полевом дневнике велась геологическая документация.

Поисковые маршруты проводились с целью выявления, картирования и опробования участков метасоматически измененных пород и минерализованных зон; уточнения факторов магматического и структурного контроля оруденения; заверки и выяснения природы выявленных геохимических аномалий.

При планировании поисковых маршрутов учитывалась естественная обнаженность геологических образований: линии маршрутов часто прокладывались вблизи осевых частей водоразделов, где задернованность поверхности минимальная. Для геологических наблюдений использовались и искусственные обнажения, оставшиеся после проходки канав, прокладки дорог, зачистки плотика на полигонах россыпной золотодобычи.

Точки наблюдения при проведении внемасштабных поисковых маршрутов располагались на разном расстоянии друг от друга. При отсутствии или слабых метасоматических изменениях горных пород шаг наблюдений составлял 500-1000 м, при наличии рудной минерализации — 50-100 м. На интервалах ее сплошного развития производились непрерывные наблюдения.

В пунктах наблюдения кратко описывалась геологическая ситуация: состав горных пород и степень их метасоматического преобразования, состав и морфология рудной минерализации, элементы залегания и геометрические параметры образований. По ходу маршрута фиксировалось изменение геологического строения между токами: смена разновидностей пород, наличие даек, тектонических нарушений. Пространственная привязка на точке осуществлялась с помощью GPS-приемников.

В поисковых маршрутах проводилось штуфное опробование всех потенциально рудоносных образований. Опробование осуществлялось методом сборной штуфной пробы, в которую отбиралось несколько сколков из развалов кварцевых жил, сульфидизированных пород однотипного состава в радиусе нескольких метров. Масса штуфной пробы составляла 0,5-1,5 кг. К каждой пробе отбирался образец. Штуфные пробы и образцы сопровождались этикетками, на которых указывался индекс маршрута и номер пробы (образца). Для характеристики горных пород и метасоматитов, не содержащих рудной минерализации, в пунктах наблюдения и по ходу маршрутов также отбирались образцы. В полевых дневниках проводилась отметка об отборе проб и образцов, указывались их номера и координаты точки отбора.

Опытно-методические работы по оценке местных коэффициентов остаточной продуктивности вторичных ореолов проводились на участках Находкинского рудного поля и месторождении Песчанка (раздел 5.2). Для этого проводилось опробование верхнего горизонта рыхлых образований в бортах 9 канав, вскрывающих медно-порфировое и золото-серебряное оруденение на полную мощность. Пробы массой 0,3-0,7 кг отбирались с шагом 20 м с глубины 20-30 см. Пробоподготовка к анализу такая же, как и для литохимических проб при съемке вторичных ореолов.

В настоящей работе использованы результаты опробования канав и скважин. Горнопроходческие и буровые работы современного этапа изучения Баимской зоны осуществляла ООО «Восточная буровая компания» (г. Хабаровск).

Горнопроходческие работы проводились на месторождении Песчанка и Находкинском рудном поле. Канавы проходили механизированным способом «на оттайку» до кровли коренных пород с помощью бульдозеров. Высота бортов механизированной проходки составила от 0,8 до 3,0 м, а на перегибах рельефа, где отмечается резкое увеличение мощности рыхлых отложений, доходила до 3,6-4,9 м. Зачистка по коренным породам осуществлялась вручную по центру полотна канавы, глубина ее менялась от 0,1 до 0,6 м (в среднем 0,3 м). Расстояние между канавами составило 200-600 м. Средняя протяженность канав — 490 м (от 74 до 1090 м; некоторые канавы приходилось разбивать на секции вследствие неравномерной оттайки и подготовки к документации, поэтому они задокументированы как отдельные выработки). Всего было пройдено 34 канавы, или 16705,9 п.м.

Колонковое бурение скважин производилось станками Boart Longyear типов LM75D и LF90C с использованием снарядов со съёмным керноприёмником, обеспечивающим высокий процент (в среднем 98,3%) выхода керна по всему интервалу бурения. В связи со значительной мощностью рыхлых отложений большинство скважин до глубины 2,0-10,0 м забуривалось с использованием адвансера без отбора керна. Скважины бурились как вертикальные, так и

наклонные в 60°, длиной в среднем 300 м. Оценочная сеть бурения от 200×100 до 400×200 м. Суммарно было пробурено 535 скважин, около 170 тыс. п.м., 60% которых приходится на скважины месторождения Песчанка, 30% — Находкинского рудного поля и оставшиеся метры составили поисковые скважины на участках Лучик, Егдыгкыч, Куст, Топь. С шагом в 20 м при подъеме скважинного прибора с помощью инклинометра осуществлялась замерка угла и азимута наклона ствола скважины.

Геологическую документацию полотна канав и керна скважин и их опробование проводили сотрудники ЗАО «Сибгеоконсалтинг» (г. Красноярск).

Документация велась в стандартных журналах, где делалась зарисовка геологической ситуации в масштабе 1:50 и поинтервальное описание пород и руд. На специальных бланках велось кодовое описание, где в табличной форме отмечались такие признаки, как тип и степень метасоматической проработки, вид и интенсивность гидротермальных образований, содержания сульфидов и прочее в количественном отношении.

Опробование полотна канав проводилось сплошной бороздой, длина секции изменялась от 0,6 до 2,7 м и в среднем составила 2 м. Борозда сечением 10×3 см выпиливалась алмазными дисками с использованием мотобензореза «на сухую», материал укладывался в бороздовый мешок, на котором записывались номера выработки, интервала опробования и пробы. В мешок вкладывалась этикетка с номером пробы. Не опробовались технологические выезды и участки полотна канавы, не вскрывшие коренные породы по причине большой мощности рыхлых отложений.

При опробовании скважин материалом являлся буровой керн. Длина интервала опробования составляла от 1,5 до 3 м, в среднем 2 м. Керн распиливался на камнерезном станке алмазной пилой на равные половины: одна половина предназначалась для проведения анализа, вторая сохранялась в керновом ящике в качестве дубликата.

3.2.Аналитические работы

Определение химического состава проб рыхлых отложений, штуфных, бороздовых и керновых проб проводилось четырьмя методами (табл. 5):

- полевым рентгенофлуоресцентным (РФА),
- приближенно-количественным атомно-эмиссионным спектральным на 22 элемента (ПКСА),
- химико-спектральным на золото,
- мультиэлементным атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MAES)
 с двумя видами пробоподготовки,
- пробирный анализ с атомно-абсорбционным (AA) окончанием на золото.

58

Метрологические характеристики полевого рентгенофлуоресцентного анализа приводятся в разделе 4.2, остальных методов — ниже.

Таблица 5

Вид проб	Участок опробования	Метод исследования		
··· 1	-	состава		
	Куст	ПКСА + химико-		
	Западная Песчанка	спектральный на золото		
	Восточная Песчанка			
	Северная Песчанка			
Литохимические пробы,	Песчанка			
отобранные при съемке по	Находкинское рудное поле	$P \Phi \Lambda + x m m c$		
вторичным ореолам рассеяния	Лучик	РФА + химико- спектральный на золото		
	Егдыгкыч			
	Топь			
	Таллах			
	Омчак			
Литохимические пробы,				
отобранные вдоль бортов канав для				
определения коэффициента				
остаточной продуктивности	Все опробованные участки	ICP-MAES + прооирный с		
Штуфные пробы		АА окончанием на золото		
Бороздовые пробы				
Керн скважин				

Аналитические работы, проведенные для определения состава литохимических проб

Приближенно-количественный атомно-эмиссионный спектральный анализ и химикоспектральный анализ на золото проводились в аттестованной Центральной комплексной лаборатории прикладной геохимии ОАО «Александровская опытно-методическая экспедиция» (г. Александров Владимирской области).

ПКСА предварительно истертых проб выполнялся методом трехфазной просыпки на дифракционном спектрографе ДФС-8 с последующей ручной дешифровкой спектрограмм. Анализ проводился на 22 химических элемента: Ag, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn. Нижние пределы обнаружения приведены в табл. 6.

Согласно Инструкции..., 1983, если расхождения между первичными и контрольными анализами лежат в пределах 0,9 < δ_{cuct} < 1,1, то систематическая погрешность анализа мала и ею можно пренебречь. Результаты внутрилабораторного контроля свидетельствует об отсутствии систематических расхождений между содержаниями большинства элементов в первичном и контрольном определениях. Исключение составляет молибден, для которого $\delta_{cuct} = 1,21$.

В соответствии с требованиями Инструкции..., 1983, результаты анализов признаются достоверными при значениях относительной случайной погрешности 1,6⁻¹ < $\delta_{cлуч}$ < 1,6. Существенное превышение допустимых значений зафиксировано для свинца (4,49) и цинка (2,33), незначительное — для меди (1,76). При исключении из выборки аномально высоких

содержаний относительная случайная погрешность анализов этих элементов не превышает норму.

Таблица б

Xa	Нижний предел	Кларк,	Хэ	Нижний предел	Кларк,
A .J.	обнаружения, г/т	наружения, г/т г/т		обнаружения, г/т	Γ/T
Ag	0,05	0,05	Mn	10	1000
As	30	2	Mo	0,3	1
В	3	10	Ni	3	60
Ba	500	700	Pb	2	20
Be	4	4	Sb	20	0,7
Bi	1	0,1	Sn	1	4
Cd	4	0,2	Sr	100	340
Со	3	20	Ti	5000	4500
Cr	3	80	V	3	90
Cu	1	50	W	5	0,4
Li	10	30	Zn	20	80

Нижние пределы обнаружения элементов методом ПКСА

Химико-спектральный анализ на золото основан на переводе этого металла «царской водкой» в раствор, сорбции его активированным углем и сжигании в канале угольного электрода на спектрографе ИСП-30. Чувствительность анализа составляет 0,002-0,004 г/т, что является достаточным для решения геохимических задач при поисках коренного золота и оценки по вторичным ореолам золотосодержащих объектов. Максимальное определяемое содержание золота — 1 г/т. Систематическая и случайная погрешность анализа при внутрилабораторном контроле незначительно превышает норму: $\delta_{сист} = 1,42$; $\delta_{случ} = 1,88$.

В аккредитованной лаборатории «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва) проводились следующие виды анализа:

- определение 40 элементов методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивносвязанной плазмой (разложение смесью четырех кислот),
- повторный анализ проб с содержанием Cu > 1% методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (окислительное растворение с HBr),
- определение Au (Pt, Pd) методом пробирного анализа с атомно-эмиссионным окончанием.

Пределы обнаружения элементов методом *ICP-MAES* после разложения материала проб в смеси кислот приведены в табл. 7. Систематическая и случайная погрешности определения концентраций данным методом по результатам внутрилабораторного контроля укладываются в диапазон: $0.91 < \delta_{cuct} < 1.13, 1 < \delta_{cлуч} < 1.32$.

Х.э.		Предел обнаружения			_	Предел обнаружения			
		Нижний Верхний		Х.	Э.	Нижний	Верхний		
Ag	Γ/T	0,5	200	Na %		0,01	5		
Al	%	0,01	10	Nb	$\Gamma \! / T$	1	10000		
As	Γ/T	5	10000	Ni	Γ/T	1	10000		
Ba	Γ/T	2	2000	Р	Γ/T	10	10000		
Bi	Γ/T	5	2000	Pb	$\Gamma \! / T$	2	10000		
Ca	%	0,01	10	S	%	0,01	10		
Cd	Γ/T	1	2000	Sb	$\Gamma \! / T$	5	2000		
Ce	Γ/T	5	2000	Sc г/т		5	2000		
Co	Γ/T	1	10000	Se	$\Gamma \! / T$	10	2000		
Cr	Γ/T	1	10000	Sn	$\Gamma \! / T$	20	2000		
Cu	Γ/T	1	10000	Sr	$\Gamma \! / T$	1	2000		
Fe	%	0,01	10	Та	Γ / T	10	10000		
Ga	Γ/T	2	2000	Te	Γ / T	10	2000		
Hg	Γ/T	2	500	Ti	%	0,01	5		
Κ	%	0,01	10	Tl	$\Gamma \! / T$	5	1000		
La	Γ/T	2	2000	V	Γ/T	10	10000		
Li	Γ/T	2	10000	W	Γ/T	20	2000		
Mg	%	0,01	10	Y	Γ/T	1	2000		
Mn	Γ/T	1	20000	Zn	Γ/T	1	10000		
Mo	Γ/T	1	10000	Zr	Γ/T	1	5000		

Пределы обнаружения элементов методом ICP-MAES (после разложения в смеси кислот)

В пробах с содержаниями более 1% меди проводилось ее повторное определение с применением другой пробоподготовки — окислительным растворением с HBr — и последующим атомно-эмиссионным анализом с индуктивно связанной плазмой. Кроме меди определялись: Ag, As, Bi, Ca, Cd, Co, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Tl, Zn. Пределы обнаружения химических элементов приводятся в табл. 8. Диапазоны систематической и случайной погрешности анализа: $0.84 < \delta_{cист} < 1.05$, $1 < \delta_{случ} < 1.23$.

Таблица 8

Х.э		Предел об	Va		Предел обнаружения			
		Нижний	Верхний	А.Э		Нижний	Верхний	
Ag	Γ/T	5	2000	Mn %		0,005	20	
As	%	0,005	10	Mo %		0,001	5	
Bi	%	0,005	1	Ni %		0,001	5	
Ca	%	0,01	40	P %		0,01	10	
Cd	%	0,001	5	Pb %		0,01	30	
Co	%	0,001	5	S %		0,05	50	
Cu	%	0,005	30	Sb	%	0,005	5	
Fe	%	0,01	50	Tl %		0,005	1	
Hg	Γ/T	20	10000	Zn %		0,01	50	
Mg	%	0,01	25					

Пределы обнаружения элементов методом ICP-MAES (окислительное разложение с HBr)

Определение Au проводилось методом *пробирного анализа с атомно-абсорбционным окончанием* из навески 30 г. Нижний предел обнаружения золота составляет 0,01 г/т, систематическая погрешность анализа $\delta_{cucr} = 0,98$, случайная погрешность $\delta_{cлуч} = 1,05$.

Перечень определяемых химических элементов включает все типоморфные элементы оруденения порфирово-эпитермальных систем, кроме платиноидов, а также согласуется с рекомендуемым Инструкцией..., 1983 списком элементов, подлежащих анализу при проведении геохимических работ. Анализ не проводился на специфические редкие и рассеянные элементы, указанные в Инструкции как повышающие ценность выявленного оруденения: Ge, Hf, In, Re, U. Использованные методы различаются по нижним пределам определения, но в своей совокупностям отвечают требованиям Инструкции..., 1983 к пределам обнаружения.

3.3. Обработка геохимических данных

Формирование базы данных. База первичных данных состояла из аналитического и картографического блоков и была организована в единую геоинформационную систему.

Аналитический блок составлен из информационных массивов, разделенных по виду геохимических работ: массивы литохимического опробования вторичных ореолов, штуфного и сколкового опробования и опробования горных выработок.

Таблица литохимической съемки по вторичным ореолам включала поля с номером пробы и привязкой точки отбора (участок, профиль, пикет, координаты х и у), информацию из дневников литохимического опробования (дата отбора, номер маршрута, исполнитель, характеристика материала пробы, глубина отбора) и результаты анализа.

Таблица штуфного опробования составлена по аналогичной схеме и дополнительно включала поля составов горных пород и рудной минерализации, данные для которых брались из полевых дневников поисковых маршрутов.

Массив документации и опробования горных выработок передан геологами ЗАО «Сибгеоконсалтинг» и объединил подмассивы, относящиеся к канавам и к скважинам. Каждая строка массива отсылает к конкретному интервалу опробования, для которого заполнены поля: участок работ, название выработки, начало и конец интервала опробования (в метрах от забоя выработки) и его географические координаты, данные инклинометрии (для керна скважин), результаты лабораторного анализа, литологический код, цвет и текстура пород, тип тектонитов, вид и степень развития метасоматических преобразований, интенсивность прожилкования, состав жильных минералов, преобладающая морфология и общее количество сульфидов, количество рудных и вторичных по ним минералов.

При добавлении в базу аналитических данных результаты измерений, помеченные как ниже предела обнаружения, заменялись на половину предела обнаружения.

62

Составленные базы и выборки из них использовались для статистической обработки данных, в том числе для определения параметров фона и минимально-аномальных содержаний химических элементов.

Картографический блок велся в пакете программ ArcGIS от ESRI (США) и включал топографическую, геологическую и геохимическую векторные темы, содержащие точечные, линейные и полигональные объекты.

В основу топографической темы легли оцифрованные топоосновы: масштаба 1:100 000 на всю Баимскую площадь, 1:10 000 на территорию Находкинского рудного поля и 1:5 000 на участок месторождения Песчанка.

Геологическая тема обработана Ганьшиным М.С. и Вайнеровой Т.Н. по геологической карте, составленной Сапегиным А.Г. (ЗАО «Сибгеоконсалтинг») по проектным материалам предшественников и современным изысканиям.

Геохимический блок включал карты и разрезы моноэлементных и комплексных аномалий химических элементов, построенных с участием автора по результатам современной съемки по вторичным и первичным ореолам.

Данные из аналитического блока привязывалась к точечным объектам картографического блока (точки отбора проб, интервалы опробования канав и скважин) в качестве атрибутивных таблиц. Геохимические данные в таком виде подвергались пространственному анализу.

Обработка геохимических данных. По результатам анализов проводилась обработка геохимических данных, которая представляла собой последовательность следующих процедур:

- пространственно-статистическое разделение совокупности первичных данных с выделением участков геологического пространства, охарактеризованного однородными, близкими к кларкам содержаниями химических элементов (область фона), и геохимических неоднородностей (аномалии) в структуре геохимического поля;
- выделение моноэлементных аномалий и построение карт изоконцентрат;
- выделение полиэлементных аномалий и построение карт аномальных геохимических полей (АГХП);
- формирование выборок, характеризующих аномальные геохимические объекты;
- статистический анализ распределений химических элементов по выборкам;
- использование статистических параметров распределения для получения производных геохимических параметров и характеристик аномальных геохимических объектов;
- классификация аномальных геохимических объектов на основе первичных данных и производных геохимических параметров и характеристик и определение их связи с геологическими, минерагеническими, ландшафтно-геохимическими факторами.

Для расчета параметров фона и определения минимально-аномального содержания из совокупности данных создавалась выборка, характеризующаяся низкими и сравнительно однородными концентрациями элемента в точках на удалении от явных аномалий. Поскольку характеристикой фона микроэлементов служат параметры логнормального распределения их содержаний (Справочник..., 1990), в качестве фона C_{ϕ} использовалось среднее геометрическое значение по выборе из *N* определений:

$$C_{\Phi} = \tilde{C} = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^{N} C_i}.$$

Разброс данных относительно среднего значения характеризовался стандартным множителем є:

$$\varepsilon = exp\left(\sqrt{\frac{\sum (lnC_i - lnC_{\phi})^2}{N-1}}\right)$$

Геохимический фон макроэлементов аппроксимируется нормальным законом с параметрами:

$$C_{\phi} = \bar{C} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} C_i$$
 и $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (C_i - C_{\phi})^2}{N - 1}}.$

За нижний уровень аномальных содержаний элемента принималось $C_A = C_{\phi} \cdot \varepsilon^3$ или $C_A = C_{\phi} + 3s$. Если повышенные, но не достигающие минимально-аномального, содержания элемента прослеживались по *m* смежным точкам ($m \le 9$), порог минимально-аномального значения снижался до $C_A = C_{\phi} \cdot \varepsilon^{3/\sqrt{m}}$ или $C_A = C_{\phi} + 3s/\sqrt{m}$.

Если в силу чувствительности анализа фон не мог быть охарактеризован значениями концентраций, за минимально-аномальное значение условно принималась половина нижнего предела обнаружения элемента данным методом.

Для каждого элемента устанавливался размах концентраций по первичной выборке и принимались интервалы для построения моноэлементных карт. Контуры аномалий рисовались в ArcGIS вручную, с учетом ландшафтной и геологической ситуации. В случае, когда морфология аномальной зоны была неясна, вводились промежуточные изоконцентраты.

Моноэлементные геохимические карты являлись основой для выделения аномальных геохимических полей ранга рудных полей. Выделение АГХП проводилось в ArcGIS на основании пространственного совмещения аномалий рудных элементов. В структуре АГХП выделялись ядерная, промежуточная и внешняя зоны. Ядерные зоны выделялись в аномальных контурах главных рудных элементов (Cu, Mo, Au). В промежуточные зоны объединялись

участки, прилегающие к ядерным частям, на площади которых развиты средне- и слабоконтрастные совмещенные аномалии Cu, Mo, Au, а также сопутствующие области повышенных содержаний Pb, Zn, As. Внешняя зона АГХП включала пространственно разобщенные слабоконтрастные аномалии рудных элементов (подробнее в разделе 5.1). Контуры АГХП корректировались с учетом структурно-тектонических особенностей строения территории.

Для характеристики выделенных АГХП рассчитывались такие параметры, как средние содержания в контуре C_{cp} , коэффициенты концентрации K_C и площадная продуктивность P.

Величины коэффициента концентрации $K_C = C_{cp}/C_{\phi}$ ранжировались по убыванию, и первые члены ряда с $K_C \ge 2$ и соотношения между ними определяли типоморфную ассоциацию и рудно-формационный тип АГХП. Дополнительным критерием для определения формационной принадлежности оруденения служили результаты корреляционного и факторного анализов (проводились в Excel, Statistica).

Площадная продуктивность аномалии *P* рассчитывалась по формуле $P = \sum (C_i - C_{\phi}) \cdot \Delta S_i$, где ΔS_i — площадь ячейки опробования, исходя из параметров поисковой сети, C_i — содержание элемента в точке опробования и C_{ϕ} — его местный фон. Величина площадной продуктивности является исходным параметром для оценки прогнозных ресурсов полезного компонента в АГХП.

Для оценки прогнозных ресурсов необходимо введение коэффициента остаточной продуктивности k, характеризующего зависимость между количеством металла в коренном оруденении и в развитом за его счет вторичном ореоле рассеяния. Величина коэффициента $k^{>}_{<}1$ зависит от форм нахождения элемента в ореолах рассеяния и местных ландшафтногеохимических условий. По Инструкции..., 1983 коэффициент остаточной продуктивности рассчитывается как отношение линейных продуктивностей вторичного ореола, опробованного по профилю вдоль канавы (M), и коренного оруденения, вскрытого этой канавой (M_p):

$$k = \frac{M}{M_{\rm p}} = \frac{\Delta x \cdot \left(\sum_{x=1}^{n} C_x - nC_{\phi}\right)}{\sum l_i \cdot C_i}$$

где Δx — шаг опробования вторичного ореола и C_x — содержания элемента в точках опробования, l_i — длина интервала опробования канавы с содержанием металла C_i . Определение k ведется для всех полезных компонентов оруденения и элементов-спутников. Обычно содержания в рудной зоне существенно выше C_{ϕ} , поэтому вычитание фона при вычислении линейной продуктивности рудной зоны не производится.

В ореолах рассеяния мощных залежей, коими и являются медно-порфировые штокверки, графики распределения содержаний элемента имеют коробчатый вид, и устанавливается зависимость $\overline{C_{max}} = k\overline{C_p}$, где $\overline{C_{max}}$ — среднее содержание рудного элемента в области плоского максимума (Справочник..., 1990; Дубов, 1974). Поэтому в настоящей работе расчет коэффициента остаточной продуктивности велся через соотношение содержаний во вторичном ореоле и соответствующем рудном пересечении.

В разделе 5.2 обосновывается использование (дополнительно к классическому коэффициенту остаточной продуктивности) коэффициента пропорциональности k_0 между содержаниями элементов в окисленных рудах $C_{изм}$, вскрытых канавами и приповерхностными интервалами скважин, и в первичных неизмененных рудах $C_{перв}$: $k_0 = C_{изм}/C_{перв}$. Тогда коэффициент пропорциональности между содержаниями металла во вторичном ореоле и рудной зоне приобретает вид $K = k_0 \times k$.

Подсчет прогнозных ресурсов *Q*, т категории P₂ велся в контуре ядерных частей АГХП в соответствии с Инструкцией..., 1983 с учетом дополнений относительно коэффициента остаточной продуктивности:

$$Q = \frac{1}{K} \cdot \frac{P}{40} \cdot H$$

где K — коэффициент пропорциональности, учитывающий перераспределение элемента в ходе формирования зоны окисления и вторичного ореола; P — площадная продуктивность вторичного ореола, м²%; 1/40 — переходный коэффициент от м³% к тоннам ресурсов (d/100%, где d — плотность горных пород, в среднем составляет 2,5 т/м³); H — предполагаемая глубина распространения оруденения, м. Выбор глубины H основан на представлениях о протяженности рудных интервалов разбуренных штокверков месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля. Для слабоизученных участков значение H выбиралось в соответствии с Инструкцией..., 1983 (200 м для месторождений меди, молибдена).

Исследование зональности оруденения. Зональное отложение элементов в процессе рудообразования обусловлено одновременным действием разнообразных физико-химических факторов и выражается в закономерном изменении соотношений между содержаниями (продуктивностями) компонентов оруденения по простиранию, падению или мощности рудной зоны. В практике геохимических поисков определение ряда и показателей геохимической зональности, монотонно изменяющихся вдоль заданного направления, имеет важнейшее значение при оценке уровня эрозионного среза залежи в метрике эталона.

Ряд вертикальной зональности в данной работе определялся с помощью программы «НЮ-2», разработанной на кафедре геохимии геологического факультета МГУ (Соловов, 1985, Справочник..., 1990). Входными данными являлись средневзвешенные концентрации элементов типоморфного комплекса на каждом 50-метровом горизонте по нескольким разрезам, пересекающим центральные части штокверков.

Обнаружение зональности ведется путем анализа численных значений парных отношений v между средними содержаниями элементов. Если величина отношения двух элементов падает с глубиной, то элемент числителя отлагался выше элемента, стоящего в знаменателе, если отношение возрастает — элемент числителя отлагался ниже элемента знаменателя. Поскольку графики парных отношений не всегда монотонны и могут иметь сложный вид, программой вычисляется центр их тяжести z: $z = \sum_{i=1}^{f} v_i f_i / \sum v_i$, где f_i — номер опробованного уровня рудной зоны (1, 2, 3, ..., f), v_i — соответствующая величина отношения между содержаниями двух элементов. Если центр тяжести графика лежит выше точки $\frac{1+f}{2}$, то график считается убывающим, если ниже — возрастающим.

Помимо ряда зональности, программа выявляет те показатели зональности первого (1 хим. эл./1 хим. эл.), второго (2/2) и третьего (3/3) порядков, которые меняются монотонно на всех опробованных интервалах. Итогом обработки геохимических данных по программе «НЮ-2» является выбор показателей зональности, имеющих ясный геохимический смысл и достаточную контрастность. Монотонность выбранных показателей обеспечивает однозначное соответствие значений показателя конкретному уровню рудной зоны *z*.

Результатом исследования зональности стало построение геохимической модели объекта, наиболее изученного и выбранного в качестве эталона. Относительно полученной модели велась таксация уровней оруденения однотипных слабоизученных объектов.

ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИЯ ПОИСКОВ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО И СОПУТСТВУЮЩЕГО ОРУДЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

4.1.Сравнение результатов геохимического картирования при поисках по вторичным ореолам рассеяния разного масштаба

За длительный период изучения Баимской меднорудной зоны литохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния проводилась здесь неоднократно, по различным сетям опробования, от мелкомасштабной М 1:50 000 до детальной М 1:10 000, в том числе с повторным покрытием перспективным участков. По результатам съемок составлялись карты геохимических аномалий, осуществлялась их интерпретация и оценка ресурсов. В настоящем разделе обсуждается вопрос, существенны ли различия в геохимическом картировании при съемках разных масштабов и целесообразно ли применять детализирующие сети М 1:10 000.

Сравнение производилось на основе данных о составе литохимических проб, отобранных на участках Находкинского рудного поля. Съемка наибольшей детальности была проведена здесь в 2010-2011 гг. по меридиональной сети 100×50 м. Пробы были проанализированы рентгенофлуоресцентным методом с использованием полевого спектрометра Niton XL3t900.

На рассматриваемых участках также проводились проходка канав и бурение скважин, и границы выхода промышленных тел медно-порфировой минерализации на поверхность известны. Установлено, что изоконцентрата меди во вторичных ореолах ≥ 500 г/т наиболее близко отвечает контуру распространения медного оруденения (раздел 5.1).

В сопоставление были включены: контур медно-порфировой минерализованной зоны (по А.Г. Сапегину, Читалин и др., 2014ф); изолинии содержаний меди в рыхлых отложениях, проведенные по исходной сети и по ее разреженным вариантам 100×100 м (2 варианта), 200×100 м (4 варианта), 500×100 м (10 вариантов) (рис. 12). Оценивалась визуальная близость границ геохимических аномалий между собой и относительно контура рудоносных зон участков III Весенний, Находка, Прямой; площади фигур S, км² (табл. 9).

Визуально существенных различий между контурами аномалий меди, проведенными по разреженной сети 100×100 м и по первичной сети 100×50 м, не наблюдается. При разрядке мелкие фигуры пропадают или объединяются с более крупными. Площадь фигур остается прежней (за исключением одного из случаев укрупнения площади для штокверка участка Прямой), а значит, под аномалии сетей 100×50 и 100×100 м закладывается одинаковое количество скважин. При этом при использовании сети 100×100 м вместо 100×50 м пробоотбор сокращается в 2 раза.



Рисунок 12. Сравнение контуров вторичных ореолов, отрисованных по сетям различного масштаба

69

Com	III Весенний			Находка			Прямой		
Сегь	S, км ²	N_{ckb}	N _{рудн}	S, км ²	N_{ckb}	N _{рудн}	S, км ²	N_{ckb}	N _{рудн}
100×50 м	1,12	28	25	0,60	17	14	0,63	13	9
100×100 м (1)	1,12	29	25	0,61	18	15	0,69	13	11
100×100 м (2)	1,12	28	25	0,61	15	12	0,62	14	9
200×100 м (1)	0,89	28	26	0,65	17	13	0,55	10	9
200×100 м (2)	1,15	27	24	0,67	16	13	0,65	12	9
200×100 м (3)	1,23	28	25	0,56	18	13	0,75	16	13
200×100 м (4)	1,08	30	24	0,53	12	9	0,58	14	11
500×100 м (1)	1,01	25	23	0,67	18	14	0,57	12	10

Сравнение площадей аномалий меди во вторичных ореолах над медно-порфировыми штокверками, оконтуренных по данным съемок различного масштаба

При переходе от сети 100×50 м к сети 200×100 м детальность картирования ожидаемо падает, но общие очертания и ориентировка прогнозируемых тел сохраняется. Площадь закартированной аномалии может как увеличиться, так и сократиться. Количество отобранных литохимических проб уменьшается в 4 раза.

Сравнение результатов геохимических съемок по сетям 100×50 и 500×100 м демонстрирует существенное упрощение контуров аномалий. Штокверковые тела по аномалиям во вторичных ореолах разреженной сети локализуются достоверно, однако возможно появление вытянутых контуров, «подвешенных» на одну точку. Согласно формуле Шурыгина, при расстоянии между профилями 500 м и шагом пробоотбора 100 м с 99% вероятностью хотя бы одна точка попадает в контур объекта площадью 0,23 км², с 75% вероятностью — площадью 0,06 км² (Справочник, 1990), то есть при такой съемке было бы локализовано абсолютное большинство ядерных зон АГХП, выделенных на территории Баимской зоны (раздел 5.1, прил. 3). По сравнению с сетью 100×50 м количество отбираемых проб сокращается в 10 раз, с сетью 200×100 м — в 2,5 раза.

Таким образом, съемка по сети 100×50 м (М 1:10 000) является излишней: при избыточной детализации контуров выявляемых аномалий существенно растут временные и денежные затраты на отбор большого количества проб. При объеме пробоотбора 6 000 проб в условиях Западной Чукотки на отработку площади 30 км² ушло бы 1,5-2 месяца (полевой сезон). Для Баимской меднорудной зоны известно, что это соответствует литохимическому опробованию одной порфирово-эпитермальной системы (рудного поля).

Съемки по сети 500×100 м (М 1:50 000) было бы достаточно при поисках промышленного оруденения медно-порфирового типа, но потребовало бы большого объема дополнительной детализации в области интенсивных аномалий. Поскольку в первую очередь детализируются аномалии большой площади, есть риск оставить без внимания меньшие

контуры вторичных ореолов, которые могут соответствовать перспективным меднопорфировым штокверкам с верхнерудным эрозионным срезом.

Опробование по сети 200×100 м (М 1:20 000) обеспечивает высокую детальность съемки и лишено недостатка появления контуров низкой достоверности, «подвешенных» на одну точку, что бывает при мелкомасштабной съемки М 1:50 000. По сравнению со съемкой по сети 100×50 м, позволяет при приемлемом объеме пробоотбора покрывать значительные площади за один сезон. Для проведения геохимических поисков по вторичным ореолам на большей части территории Баимской зоны использовалась именно эта сеть — по ней отработано около 220 км² из 270 км² опробованных.

4.2. Опыт полевого рентгенофлуоресцентного анализа при поисковых геохимических работах

Компания ООО «Геохимпоиски CB» при кафедре геохимии геологического факультета МГУ использует в своей практике поисковых геохимических работ рентгенофлуоресцентные экспресс-анализаторы с 2010 года (Николаев и др., 2013а). С этого момента литохимическим опробованием по сетям 200×100–100×50 м закрыто несколько перспективных участков Баимской площади. Около 20 тысяч проб проанализировано во временной полевой лаборатории и in situ на участках работ, где применялись спектрометры Niton XL3t900 и FXL-950, изготовленные ThermoFisher Scientific, США (рис. 13).



Рисунок 13. Вид спектрометров Niton XL3t900 и Niton FXL-950 (https://www.thermofisher.com) Данные энергодисперсионные спектрометры предназначены для измерения неразрушающим методом массовой доли химических элементов в веществах и материалах, находящихся в твердом, порошкообразном и жидком состоянии. Технические характеристики цитируются ниже по свидетельству об утверждении типа средств измерений в Государственном реестре (Приложение..., 2010), которое доступно для спектрометра Niton XL3t900, а также по рекламным проспектам производителей. Лабораторная станция Niton FXL-950 имеет те же параметры, отличает ее меньшая мобильность и дополнительные возможности в точечном анализе.

- Серебряный анод рентгеновской трубки и подаваемое напряжение в 50 кВ определяет диапазон анализируемых элементов — от Mg до U.
- Для регистрации излучения служит SDD детектор с разрешением 200 эВ и скоростью счета до 200 000 импульсов в секунду, что позволяет быстро и надежно разделять сигналы на разных энергетических уровнях. Достаточная длительность съемки образца в 2 минуты определяет экспрессность анализа. Детектор калибруется автоматически.
- Электрическое питание от аккумуляторной батареи (емкость 7,8 Ач; время непрерывной работы не менее 6 ч) или от электрической сети.
- Внутренняя память рассчитана на 10 000 измерений.
- Пыле- и влагозащищенный корпус выполнен из ударопрочного негорючего пластика.
 Niton XL3t900 весит 1,3 кг и может свободно применяться в полевых условиях.

В программном обеспечении (ПО) приборов в виде разных режимов съемки реализовано два принципиальных способа обсчета спектров. Комптоновская нормализация применяется в режиме съемки Soil для анализа низких содержаний элементов в легких матрицах. Метод фундаментальных параметров используется в режиме Mining для определения концентраций в широком диапазоне с учетом межэлементных взаимодействий, в том числе последствий наложения пиков. Например, известно, что в пробах с высокими содержаниями свинца могут быть завышены определения концентраций мышьяка вследствие наложения спектральных линий $K_{\alpha}As = 10,54$ кэВ и $L_{\alpha}Pb = 10,55$ кэВ.

Пользователь может сохранять в ПО приборов калибровки, представляющие собой коэффициенты k и b уравнения линейной взаимосвязи $C_{изв} = k \cdot C_{пол} + b$ между известными $C_{изв}$ и полученными $C_{пол}$ значениями концентраций, чтобы уменьшить систематическую ошибку анализа. В настоящей работе приведенные результаты анализа на Niton получены с использованием калибровок, определенных по результатам анализа ряда стандартов. Коэффициенты k и b не приводятся здесь, поскольку являются уникальными для конкретного прибора (и даже варианта его калибровки у производителя) и объекта исследований (NITON ... User's Guide, v. 6.5).

Во время анализа происходит автоматическая смена фильтров, которые регулируют диапазон энергии первичного излучения и определяют набор единовременно анализируемых элементов (табл. 10). Длительность съемки на каждом фильтре может быть задана
пользователем: в описываемых исследованиях она составила 30 секунд на каждом фильтре, то есть анализ в режиме Soil занимал 90 секунд, в режиме Mining — 120.

Таблица 10

Фильтр	Элементы					
	B режиме Soil	B режиме Mining				
Main	As, Au, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Th, U, W, Zn, Zr	Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hf, Hg, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, Sb, Se, Sn, Sr, Ta, Ti, V, W, Zn, Zr				
Low	Ca, Cr, K, S, Sc, Ti, V	Ca, Cr, K, Ti, V				
High	Ag, Ba, Cd, Cs, Pd, Sb, Sn, Te	Ag, Ba, Cd, Pd, Sb, Sn				
Light		Al, Cl, Mg, P, S, Si				

Химические элементы, анализируемые при работе различных фильтров (на примере анализатора Niton FXL-950)

Для использования рентгенофлуоресцентного анализатора при поисках меднопорфировой и сопутствующей минерализации на Баимской площади рассматривались возможности приборов для выявления в почвах аномалий рудных элементов — Cu, Mo, Ag, As, Sb, Pb, Zn, а также Mn и макроэлементов Fe, S, K, Ca, образующих аномальные поля в области развития марганцевых вторичных минералов, часто сопутствующих эпитермальному оруденению, пиритизации, серицитизации, карбонатизации. Аи не включен в этот список, так как заведомо известно, что чувствительности анализа рассматриваемыми приборами недостаточно для определения содержаний, наблюдаемых в рыхлых отложениях. Исходя из поставленной задачи, оценивалась точность (правильность и воспроизводимость) результатов анализа на спектрометрах Niton. Также одной из важнейших задач стало уточнение нижнего предела обнаружения элементов: производитель хоть и указывает пределы, но для матрицы в виде чистого кремнезема или кремнезема с добавлением железа и кальция для имитации почвенной матрицы, в реальных же пробах рыхлых отложений получаемые спектры, показатели фона и, соответственно, порог обнаружения элементов отличаются. В работе приводятся результаты тестирования портативной станции Niton FXL-950; для спектрометра Niton XL3t900 показатели схожие.

Точность анализа оценивалась по набору стандартов, общая характеристика которых дана в табл. 11. В этот список вошли преимущественно стандартные образцы, химический состав которых может быть соотнесен с составом фоновых и контаминированных почв и руд, развитых в порфирово-эпитермальных системах. Для контроля очистки сигнала в области фона использовался стандарт SiO₂ (99,995%) (NITON ... User's Guide, v. 6.3): в случае, когда в чистом кремнеземе прибором ложно определяются концентрации элементов, кроме кремния, для них должен быть введен «вычитающий» поправочный коэффициент b.

В приложении 1 приведены результаты измерений по всем элементам, одновременно доступным для анализа спектрометром Niton и имеющим паспортное (аттестованное,

референсное или справочное) значение концентрации. Для главных элементов результаты анализа также визуализированы на рис. 14 (колонка А). Корреляция между найденными и опорными значениями высокая. Точки, нанесенные на графики по аттестованным данным, ложатся на линию равных значений, что свидетельствует о низкой систематической ошибке экспрессного анализа на Niton FXL-950. Расхождения относительно паспортных значений единичны: показания Niton отличаются от аттестованных для Ag и Sb в стандарте 793-76, As в 2781, Mn и Fe в 8779-2006, Fe в 2710а (соответствующие точки подписаны на графиках).

Воспроизводимость измерений высокая: относительное стандартное отклонение (случайная погрешность анализа) составляет менее 10% для стандартов, в которых содержания главных элементов на уровне или превышают минимально-аномальные во вторичных ореолах Баимской зоны (рис. 14, колонка Б). Исключение составляет серебро: чувствительность анализа позволит с низкой ошибкой определять концентрации выше 10 г/т.

Таблица 11

Название	Материал	Источник данных
2029-79	медно-колчеданная сульфидная руда	Стандартные образцы, 1987
2702	морские осадки, отобранные в устье бухты, относящейся к городской территории	Standard, 2012a
2709a	почва	Standard, 2009a
2710a	почва с добавлением оксида свинца	Standard, 20096
2711a	контаминированная почва	Standard, 2009B
2780	отвалы закрытого участка добычи	Standard, 20126
2781	коммунальные отходы	Standard, 1996
2891-84	медный концентрат	Отраслевой реестр, 2015
3030-84	медно-молибденовая скарновая руда	Отраслевой реестр, 2015
3594-86	колчеданно-полиметаллическая руда	Отраслевой реестр, 2015
3596-86	колчеданно-барит-полиметаллическая руда	Свидетельство, 1986
7184-95	тундровая почва	Отраслевой реестр, 2015
793-76	медно-цинковая полиметаллическая руда	Стандартные образцы, 1987
8097-2002	дерново-подзолистая почва	Отраслевой реестр, 2015
8488-2003	золото-серебряная руда	Отраслевой реестр, 2015
8779-2006	полиметаллическая руда	Отраслевой реестр, 2015
BAM-U110	контаминированная почва	Certified, 2006
OREAS 22b	кварцевый песок с добавлением оксида железа	Certificate, 2008
OREAS 501	~	Certificate, 2011a
OREAS 502	золото-медная руда с добавлением материала	Certificate, 20116
OREAS 503	отвалов золото-медно-порфирового	Certificate, 2011B
OREAS 504	месторождения и молноденового концентрата	Certificate, 2011r
RCRA	искусственный стандарт	NITON User's Guide, v. 6.3
TILL-4	ледниковые отложения с добавлением молибденсодержащих почв	Certificate, 1995

Общая характеристика материала стандартных образцов, использованных при тестировании спектрометров Niton





В. Воспроизводимость относительно

Рисунок 14. К оценке возможностей спектрометра Niton FXL-950 при определении концентраций некоторых элементов Красным цветом проведена линия равных концентраций; п — число проб, Сф и САЗ — фоновое и минимально-аномальное содержания элемента во вторичных ореолах Баимской зоны.



76

Рисунок 14 (продолжение). К оценке возможностей спектрометра Niton FXL-950 при определении концентраций некоторых элементов Красным цветом проведена линия равных концентраций; п — число проб, C_ф и C_{A3} — фоновое и минимально-аномальное содержания элемента во вторичных ореолах Баимской зоны.



А. Оценка правильности по стандартам

Б. Относительное стандартное отклонение результатов анализа стандартов

В. Воспроизводимость относительно результатов ICP-MAES анализа

Рисунок 14 (продолжение). К оценке возможностей спектрометра Niton FXL-950 при определении концентраций некоторых элементов Красным цветом проведена линия равных концентраций; п — число проб, C_ф и C_{A3} — фоновое и минимально-аномальное содержания элемента во вторичных ореолах Баимской зоны. В колонке В на рис. 14 проводится сравнение результатов XRF-анализа, выполненного на спектрометре Niton FXL-950, и традиционно применяемого при геохимических поисках ICP-MAES анализа, проведенного в аккредитованной лаборатории «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва). Анализировались пробы рыхлых отложений, отобранных по бортам разведочных канав месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля для дальнейшего определения коэффициента остаточной продуктивности (раздел 5.2). Для расширения выборки в область бо́льших концентраций серебра дополнительно анализировался перетертый материал штуфных проб, отобранных на территории Баимской, Водораздельной, Мангазейской, Кричальской площадей с развитием благороднометальной эпитермальной минерализации.

Для рассматриваемых элементов, кроме сурьмы, наблюдается высокая корреляция между результатами XRF и ICP-MAES анализа. Для серебра отмечается завышение показаний Niton относительно более прецизионного ICP-MAES анализа в области содержаний до ~8 г/т; а для марганца, напротив, занижение в диапазоне до ~150 г/т. Данные XRF-анализа по мышьяку систематически выше результатов ICP-анализа (что при необходимости можно поправить, введя соответствующий коэффициент k < 1 в ПО Niton). В выборку вошли пробы с невысокими содержаниями сурьмы — до 80 г/т — и в этом диапазоне концентраций показания Niton хуже соотносятся с результатами ICP-MAES-анализа и оказываются относительно них заниженными. В целом, расхождения между данными XRF и ICP-MAES анализов отмечаются для всех микроэлементов в области предела их обнаружения спектрометром Niton, и на графиках точки, соответствующие низким значениям концентраций, образуют менее компактный тренд, чем отвечающие более высоким концентрациям.

Расхождения между результатами XRF и ICP-MAES по макроэлементам больше, чем по микроэлементам. Это объясняется, во-первых, тем, что элементы с малым атомным номером (< 20) имеют низкие энергии характеристического излучения, которое к тому же ослабляется в воздушной атмосфере до достижения детектора, что понижает точность XRF-анализа легких элементов. Во-вторых, может иметь место неполное разложение материала при пробоподготовке к ICP-MAES анализу.

Провести контроль показаний Niton FXL-950 результатами ICP-MAES анализа (данные той же лаборатории — «Стюарт Геокемикл энд Эссей») удалось и по крупной совокупности проб, которую составили литохимические пробы, отобранные на участках Бургахчанской площади (к югу от Баимской зоны), где представлена минерализация Au-Ag-полиметаллической, золото-кварцевой и медно-порфировой формаций. Значимая корреляция между результатами двух методов анализа отражена в коэффициентах Пирсона, близких к единице (табл. 12; критическое значение даже для наименьшей выборки — для Sb — проходит на уровне 0,23 (5% уровень значимости), а для остальных еще ниже).

Оценить чувствительность анализа в классическом смысле не представляется возможным, так как пользователь получает протокол с уже рассчитанными концентрациями, а не значениями регистрируемого сигнала и фона. Однако, по имеющейся аналитической базе по стандартам, литохимическим пробам и штуфам возможно указать минимальное содержание, определяемое анализаторами Niton в матрице, отвечающей рудным гидротермальным образованиям и производным по ним рыхлым отложениям (табл. 13). В таблице отсутствуют данные по Fe, K и Ca, так как пробы с их низкими содержаниями в выборке не представлены.

Таблица 12

V n	Число проб, для которых доступны	Коэффициент
Л.Э.	результаты анализов двумя методами	корреляции
Cu	2932	0,98
Mo	2287	0,95
Ag	85	0,99
As	2863	0,88
Sb	26	0,91
Pb	2884	0,99
Zn	2931	0,99
Mn	2930	0,95
Fe	2935	0,77
S	2005	0,92
K	2935	0,81
Ca	2935	0,90

Коэффициенты корреляции между результатами XRF анализа, проведенного на Niton FXL-950, и ICP-MAES анализа для главных элементов

Таблица 13

Пределы обнаружения главных элементов спектрометром Niton FXL-950 и их фоновые и минимально-аномальные концентрации во вторичных ореолах участков Баимской зоны

	Предел обнар	ужения, заявленный			
	прои	зводителем	Минимальное содержание,		
X a		«типичная	определенное в	C_{Φ}	C _{A3}
Λ.J.	в чистом SiO ₂	почвенная матрица	испытательной выборке		
		$SiO_2 + Fe + Ca \gg$			
			Г/Т		
Cu	9	12	9	32	90
Mo	1,5	2	3	2	8
Ag	-	—	4	0,09	0,60
As	2	5	6	11	30
Sb	5	8	10	10	20
Pb	3	5	5	16	86
Zn	6	10	10	52	333
Mn	50	55	55	310	1007
Fe	30	-	_	37000	58000
S	50	60	140	400	1100
K	35	100	_	13000	20000
Ca	230	_	_	5000	13000

Из табл. 13 следует, что уточненные пределы обнаружения практически не отличаются от заявленных производителем. Что более важно для использования рассматриваемых спектрометров при геохимических поисках, нижние пределы обнаружения главных элементов сопоставимы с уровнями их содержаний в рыхлых образованиях фоновой территории Баимской зоны (фоновое C_{ϕ} и минимально-аномальное C_{A3} содержания приведены по результатам ПКСА-анализа литохимических проб и оценке фона участка Куст; для макроэлементов — по XRF-анализу литохимических проб рудного поля Песчанка). Как уже говорилось, чувствительность XRF-анализа, проведенного на Niton, по серебру позволит выявлять концентрации от 10 г/т: развитие рыхлых образований с такими содержаниями возможно в области эпитермального оруденения.

При проведении геохимической съемки на участках Баимской зоны в 2010-2015 гг. была отработана схема использования экспресс-анализаторов Niton (рис. 15). Основной объем работы составил анализ рыхлых отложений, отобранных для характеристики вторичных ореолов. Пробоподготовка состояла в просушивании и просеивании через сито с диаметром окна 1 мм отобранного материала литохимических проб. Материал массой около 10 г помещался в пластиковые кюветы с дном из майларовой пленки толщиной 6 мкм, через которое и проходит облучение пробы первичным рентгеновским излучением. Время анализа одной пробы — до двух минут (90 или 120 секунд в зависимости от выбранного режима, Soil или Mining). После анализа материал возвращался в крафтовые конверты, а кювета чистилась проспиртованной ватой и майларовая пленка заменялась на новую. Контроль работы приборов осуществлялся ежедневной съемкой стандартов; ряд проб подвергался повторному анализу.

Перенос данных с приборов проводился через ПК или флэш-накопитель, и с помощью программы Niton Data Transfer протоколы анализа экспортировались в Excel.

Наш опыт показал, что за час работы по указанной схеме можно получить результаты 20 анализов. При этом аккумулятор обеспечивает около 5 часов непрерывной работы, а его зарядка занимает 4 часа. Имея два аккумулятора в комплекте или подключив спектрометр к сети, оператор добьется бесперебойной работы. В случае перегрева детектора, прибор автоматически переходит в режим охлаждения, длящийся не более двух минут.

Приборы также применялись для анализа образцов пород, метасоматитов и руд. Оператор в этом



Рисунок 2. Схема использования экспресс-анализаторов Niton при литохимической съемке

случае должен помнить 0 гетерогенности пробы, следить за тем, какая область образца попадает в окно под рентгеновский луч, при И необходимости проводить серию анализов, меняя положение образца, последующего усреднения для результатов. При съемке сколков острые углы образца могут повредить тонкую пленку окна анализатора, что сделает схему прибора открытой для загрязнений, — рекомендуем следить за



Рисунок 3. Использование Niton XL3t900 при съемке естественных обнажений

состоянием окна прибора и заменять пленку немедленно при ее повреждении.

Портативный Niton XL3t900 также использовался для съемки обнажений *in situ* без защитного стенда (рис. 16). Особенностью такого варианта использования является необходимость зажимать стартовый курок прибора на протяжении всего анализа и контролировать расстояние между носовой частью спектрометра и образцом — при увеличении прослойки воздуха между ними до 1-2 см анализ автоматически остановится.

На основании проведенных исследований метрологических характеристик и практического применения экпресс-анализаторов Niton можно сделать выводы:

- Анализ набора стандартных образцов показал низкую систематическую погрешность измерений на спектрометрах Niton. Сравнение результатов XRF и ICP-MAES анализов литохимических проб также выявило высокую значимую корреляцию между показаниями двух методов. Обнаружив систематические расхождения, пользователь всегда может ввести поправочные коэффициенты непосредственно в ПО приборов.
- Воспроизводимость анализа на Niton высокая: случайная погрешность составляет менее 10% для концентраций на уровне и выше минимально-аномального порога во вторичных ореолах. Исключение — серебро: анализ с низкой случайной ошибкой возможен для проб с концентрацией Ag ≥ 10 г/т.
- Нижние пределы обнаружения позволяют проводить оценку параметров фона и выделять слабые аномалии на уровне C_φ·ε или C_φ + s следующих элементов: Cu, As, Pb, Zn, Mn, Fe, S, K, Ca.
- Нижние пределы обнаружения Мо и Sb позволяют выделять геохимические аномалии во вторичных ореолах на уровне C_φ·ε³.

- 5. Для картирования вторичных и первичных ореолов Ag и Au чувствительности экспрессного XRF-анализа недостаточно. Если Ag или Au представляют интерес в конкретном исследовании, необходимо повторять анализ проб более прецизионными методами.
- 6. Практический опыт использования рентгенофлуоресцентных анализаторов показывает их высокую эффективность при проведении геохимической съемки по вторичным ореолам порфирово-эпитермальных систем. Экспрессность анализа позволяет в тот же полевой сезон начать проходку разведочных канав под выявленные аномалии.

ГЛАВА 5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫЯВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО И СОПУТСТВУЮЩЕГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ

5.1. Гипергенное геохимическое поле порфирово-эпитермальных систем

Критерии выявления и оценки медно-порфирового оруденения разрабатывались по результатам изучения закономерностей строения и расчета параметров аномальных геохимических полей, свойственных порфирово-эпитермальным системам центральной части Баимской зоны. По итогам геохимической съемки по вторичным ореолам и поисковых маршрутов здесь было выделено несколько порфирово-эпитермальных систем (с севера на юг): Юряхская, Топь, Егдыгкычская, Западнопесчанкинская; Песчанкинский кластер с Кустовской, Песчанкинской, Таллахской ПЭС; Находкинская, Светлинская и Омчакская (прил. 2, 3). ПЭС ассоциируют с Егдыгкычским монцонитоидным плутоном и Верхне-Баимским штоком диоритовых порфиритов, имеют эллипсовидные очертания и в среднем занимают площадь 30 км². Контур ПЭС может быть соотнесен с контуром рудного поля.

В данной работе основное внимание уделено Находкинской ПЭС, как одной из наиболее изученных, продуктивных, а также, как будет показано далее, развитой и сохранившейся ПЭС Баимской зоны.

АГХП Находкинской ПЭС выделено по результатам детальной литохимической съемки 2010 г. масштаба 1:10 000, дополненной с юга в 2013 г. съемкой масштаба 1:25 000 на участке Омчак. Большую часть площади занимает Верхне-Баимский массив весеннинского K₁vs гранодиоритового комплекса, прорываемого штоками диорит-порфиритов, монцодиоритпорфиров, монцодиоритов егдыгкычского K₁e комплекса. В южной части контура ПЭС преобладают вмещающие вулканогенные и вулканогенно-терригенные образования возраста J₃, прорванные телами габброидов баимского J₃b комплекса и диоритовых порфиритов K₁vs комплекса. Из метасоматических преобразований здесь доминируют кварц-серицитовые изменения; в меньшей степени представлены калишпат-биотитовые метасоматиты и аргиллизиты. Характерно распространение марганцевых вторичных минералов. С телами K₁e комплекса связаны штокверки кварцевых и кварц-карбонатных прожилков с халькопиритом, борнитом, блеклыми рудами и молибденитом. На западе ПЭС развито эпитермальное золотосеребряное оруденение в виде кварц-карбонат-полисульфидных жил и тонкопрожилковых штокверков в K₁vs диорит-порфиритах, измененных до кварцевых и кварц-серицитовых метасоматитов. По результатам экспрессного рентгенофлуоресцентного анализа и химико-спектрального анализа на золото были определены параметры фона и минимально-аномальные содержания элементов в рыхлых образованиях (табл. 14).

Таблица 14

Микроэлементы										
Va	C = 7/=	3	С _А , г/т		C =/=	% проб	% проб	% проб		
л.э.	C _φ , 171		C _{A1}	C _{A2}	C _{A3}	C_{max} , 17T	< LOD	$\geq C_{A1}$	$\geq C_{A3}$	
Ag*			14			97	95	5	5	
As	15	1,2	18	22	27	2376	0	96	89	
Au	0,004	1,7	0,006	0,010	0,017	>1	14	72	50	
Ba	440	1,5	660	1000	1500	3042	2	27	3	
Cd^*			5			28	87	13	13	
Cr	110	1,6	170	270	410	758	4	20	0	
Cu	34	1,2	41	50	61	11101	8	86	78	
Mn	350	1,6	600	1030	1780	33317	2	63	34	
Mo	2,5	1,5	3,8	5,8	8,9	313	51	49	28	
Nb	8	1,3	11	14	18	20	9	11	0	
Ni [*]			72			156	100	0	0	
Pb	20	1,3	26	34	43	5915	48	37	36	
Pd^*			5			9	97	3	3	
Rb	40	1,4	60	90	130	121	8	14	0	
Sb [*]			19			401	97	3	3	
Se [*]			14			17	100	0	0	
Sn [*]			32			32	100	0	0	
Sr	190	1,4	270	360	500	1764	8	40	3	
V	400	1,2	500	620	770	960	8	12	0	
\mathbf{W}^*			61			97	100	0	0	
Zn	51	1,7	86	146	246	4278	15	48	20	
Zr	110	1,3	140	180	240	250	8	13	0	
				l	Макроэл	ементы				
				C4. %	p	~	% проб	% проб >	% проб >	
Х.э.	С _ф , %	S	CA1	C _{A2}	C _{A3}	C _{max} , %	< LOD		C_{A3}	
Al	4,32	0,60	4,91	5,51	6,10	14,16	0	63	18	
Ca	0,94	0,35	1,35	1,74	2,13	8,79	1	7	3	
Cl	0,106	0,008	0,114	0,122	0,130	0,32	4	40	14	
Fe	4,35	0,63	5,01	5,81	6,47	14,66	0	81	52	
Κ	1,77	0,34	2,08	2,39	2,69	4,92	0	42	13	
Р	0,16	0,05	0,21	0,26	0,31	0,68	9	89	42	
S	0,16	0,08	0,31	0,47	0,62	3,10	16	42	25	
Si	16,38	1,12	17,50	18,62	19,74	32,59	8	64	44	
Ti	0,39	0,07	0,46	0,54	0,61	0,80	8	23	1	

Параметры фона и минимально-аномальные содержания химических элементов в рыхлых образованиях Находкинского рудного поля

* — за минимально-аномальное содержание условно принято наименьшее определенное значение

Высококонтрастные аномалии большой площади образуют Au, Cu, Mo, Pb, As, Mn, Zn (по убыванию K_C ; прил. 2). В аномальных концентрациях присутствуют также Cd, Ag, Sb. Из макроэлементов слабые аномалии ($K_C < 2$) присущи S, P, Fe, Al, Si, K.

Вторичные ореолы меди, выделенные в изоконцентрате 150 г/т, широко распространены на площади съемки. Обогащенные части вторичных ореолов с концентрациями $Cu \ge 500$ г/т развиты на северо-востоке ПЭС, где образуют протяженную зону субмеридионального простирания длиной 7 км и шириной 2 км; их оси ориентированы в северо-западном и северо-восточном направлениях. Богатые медью (часто с $Cu \ge 3000$ г/т) зоны соответствуют известным медно-порфировым штокверкам участков Находка, Прямой, Малыш, III Весенний. В контур ПЭС включена также крупная (~2 км² в контуре $Cu \ge 150$ г/т) медная аномалия северо-восточного простирания в районе руч. Вилка. На левобережье р. Баимки выявлены только слабоконтрастные аномалии меди.

Вторичные ореолы молибдена, выделенные по изолинии $Mo \ge 10$ г/т, распространены менее широко и на большей части площади пространственно совпадают с аномалиями меди. Роль молибдена в составе вторичных ореолов порфировой минерализации значительна на участках Прямой и Малыш. Изоконцентрата содержаний $Mo \ge 30$ г/т в наибольшей степени соответствует задаче выделения потенциальных медно-молибден-порфировых рудных тел. В западной части площади съемки выявлено несколько локальных аномалий молибдена, одна из них характеризуется высокой интенсивностью.

Вторичные ореолы золота оконтурены по содержаниям Au \geq 0,01 г/т и по размерам сопоставимы с вторичными ореолами меди. В составе наиболее интенсивной западной аномальной зоны богатые контуры с Au \geq 1 г/т образуют цепочки, подчиняющиеся основному северо-восточному направлению разведанной жильно-прожилковой зоны месторождения Весеннее. Южнее месторождения, ближе к истокам р. Баимки выявлена линейная аномалия золота северо-западного простирания протяженностью 2 км. Центральная часть аномалии приурочена к участку Веснушка, где в 1960-е годы проводились поисковые работы на золото и канавами были вскрыты кварцевые жилы (Шавкунов и др., 1969), однако штуфное переопробование жил показало низкие содержания золота (до 0,03 г/т). Правобережье р. Баимки занято менее интенсивной аномалией, где высокие содержания золота (0,1-0,3 г/т) выявлены в контурах богатых вторичных ореолов меди, а на участке Находка локализованы и за пределами медной зоны с восточного бока.

Значительную площадь занимают вторичные ореолы мышьяка, картируемые начиная с изоконцентраты As ≥ 100 г/т. Интенсивные аномалии выделены как на левом, так и на правом берегу р. Баимки, и только на участке III Весенний мышьяк образует разрозненные и небольшие по площади слабые аномалии. Обогащенные участки вторичных ореолов

приурочены к контурам потенциальных медно-порфировых рудных тел, а также встречаются за их пределами. Так участок Прямой обрамляется интенсивными аномалиями мышьяка, в ядерных частях которых содержания ≥ 300 г/т, а максимальное превышает 0,4% As. В этой части ПЭС в золотоносных кварцевых жилах и прожилках присутствует арсенопирит.

Вторичные ореолы свинца, выделенные в изолинии концентраций $Pb \ge 50$ г/т, интенсивно развиты в центральной части ПЭС. В структуре аномального поля свинца преобладают слабо вытянутые, близкие к изометричным вторичные ореолы средней протяженностью 600 м и шириной 200-500 м. Наиболее интенсивные аномалии выделяются в составе геохимического поля месторождения Весеннее: в рыхлых отложениях непосредственно над кварц-сульфидными жилами содержания свинца превышают 1000 г/т. В составе восточной аномальной зоны вторичные ореолы свинца менее интенсивны и приурочены к внешним зонам медно-порфировых структур, причем преимущественно развиваются ассиметрично, с одного бока штокверков. Как и в случае мышьяка, вторичные ореолы свинца на участке III Весенний получили ограниченное развитие.

Вторичные ореолы цинка выделены по содержанию Zn ≥ 150 г/т и в большинстве случаев пространственно совпадают с ореолами свинца.

Во всей Баимской зоне исключительно для западной части АГХП Находкинской ПЭС характерны обширные высококонтрастные вторичные ореолы марганца, которые даже в изоконцентрате 0,3% Mn занимают практически всю площадь месторождения Весеннее. Над золото-серебряной жильно-прожилковой зоной содержания марганца в рыхлых образованиях составляют более 1%, в максимумах ореолов — более 3% Mn. На правобережье р. Баимки аномалии марганца развиты во внешней зоне медно-порфировых структур, обрамляя их с востока. Пространственно наиболее богатые ореолы марганца повторяют контур ореолов свинца и цинка.

В распределении петрогенных элементов можно отметить следующие особенности:

Аномальные содержания кремния маркируют зоны кварц-сульфидного прожилкования, окварцевания, поля кварц-серицитовых и кварц-калишпатовых метасоматитов. Сплошное развитие повышенных концентраций кремния (Si ≥ 26%) на правобережье р. Баимки подтверждает преобладание кремниевого метасоматоза, фиксируемое здесь по геологическим наблюдениям. Интенсивность аномалий кремния максимальна на площади участка Находка, где наблюдается наибольшая насыщенность пород кварц-сульфидными прожилками, и минимальна на участке Прямой. Для левобережья р. Баимки аномальный уровень содержаний кремния не характерен. Хотя обычно в практике геохимических поисков информативность аномалий кремния кремния во вторичных ореолах невелика, крупные рудоносные структуры типа Находкинской ПЭС с развитыми на их площади выходами кварц-серицитовых метасоматитов и

мощных кварцевых штокверков отчетливо проявляются в контрастности геохимического поля кремния.

Сходные с кремнием тенденции в распределении имеет алюминий.

Для калия свойственна приуроченность его повышенных содержаний в рыхлых образованиях ($K \ge 2,5\%$) к богатым контурам аномалий меди и золота. Причем на площади золото-серебряного месторождения Весеннее уровень содержаний калия во вторичных ореолах выше и аномалии распространены шире, чем на медно-порфировых объектах.

Аномалии кальция, выделенные в изоконцентрате $Ca \ge 1,5\%$, имеют ограниченное распространение и отчетливо приурочены к участкам развития золото-серебряного оруденения (участки Весенний, Прямой). Несмотря на то, что карбонатные прожилки отмечаются в составе жильно-прожилковых зон, аномалии кальция выделены преимущественно в периферических частях развития золото-серебряной минерализации, где возрастает количество безрудных карбонатных прожилков на фоне уменьшения доли кварц-сульфидных.

По степени корреляции между содержаниями в рыхлых отложениях рудные и петрогенные элементы образуют две группы, внутри которых существуют ассоциации с более тесными связями (выделены скобками; рис. 17):

I. (Cu, Mo) — (P);

II. $(Pb, Zn, Mn, Au) \longrightarrow (Ba, K, Al, Si) \longrightarrow (As, S, Fe, Ag, Sr) \longrightarrow (Ca).$

Группа I, в которой главными рудными элементами являются медь и молибден, соответствует геохимической специализации вторичных ореолов правобережья р. Баимки, где сконцентрировано большинство известных и прогнозируемых медно-порфировых штокверков Находкинского рудного поля. Группа II, в которой главную роль играют свинец, цинк, марганец и золото, отвечает составу гипергенного поля золото-серебро-полиметаллического оруденения, доминирующего в западной аномальной зоне на левом берегу р. Баимки.

Принципиальным отличием, отражающим геохимическую специализацию вторичных ореолов объектов двух типов — медно-порфирового и золото-серебряного, — является характер взаимосвязей между Cu, Mo и Au. Для демонстрации отличия на рис. 17 приведены дендрограммы корреляционных связей между содержаниями элементов в рыхлых отложениях отдельно для участка Находка и месторождения Весеннее. На объектах медно-порфировой минерализации во вторичных ореолах проявляется тесная связь меди с молибденом и к ним склоняются золото и серебро в составе группы (Fe, S, Ag, Au, As), а полиметаллы образуют обособленную ассоциацию. Для рыхлых отложений участка Весенний характерна отстраненность золота от других рудных элементов, медь при этом не образует устойчивой группы с молибденом, а тяготеет к полиметаллам.



вторичных ореолах Находкинской ПЭС

По результатам пространственно-статистического анализа и характеру корреляционных связей между содержаниями элементов в составе аномального геохимического поля Находкинской ПЭС выделяются структуры, имеющие зональное строение.

В составе АГХП медно-порфирового типа выделяются ядерные зоны повышенных содержаний Cu \geq 500 г/т, Mo \geq 30 г/т и Au \geq 0,1 г/т, которые соответствуют прогнозируемым медно-порфировым и медно-молибден-порфировым штокверкам. Обрамляющие ядра области содержаний Cu \ge 300 г/т, Mo \ge 10 г/т и Au \ge 0,01 г/т объединялись в группу переходных зон АГХП, в которых по результатам полевых наблюдений фиксируются метасоматически переработанные породы с прожилковыми зонами с сульфидной минерализацией и повышенными концентрациями главных рудных элементов. Промежуточные зоны могут развиваться как над непромышленной минерализацией на участках с менее интенсивной трещиноватостью в обрамлении потенциальных рудных тел, так и по надрудным первичным ореолам невскрытого эрозией промышленного оруденения, залегающего на небольшой глубине от поверхности. Во внешние зоны АГХП включались области минимально-аномальных концентраций во вторичных ореолах меди и золота, а также развития аномалий свинца и цинка. зоны АГХП отвечают участкам рассеянной Внешние медной и сопутствующей полиметаллической минерализации в пропилитизированных породах. Главным элементом, по которому проводилось выделение структур АГХП медно-(молибден)-порфирового типа, являлась медь.

В структуре АГХП золото-серебряного типа ядра выделялись по неразобщенным контурам содержаний золота в рыхлых отложениях $Au \ge 0,1$ г/т, внутрь которых попадают литохимические пробы с содержаниями более высоких градаций — $\ge 0,3$, ≥ 1 г/т Au. Ядерные зоны соответствуют жильно-прожилковым зонам кварц-сульфидного состава с золото-серебряной минерализацией. В промежуточные зоны включались области развития вторичных ореолов с концентрациями Au 0,1-0,3 г/т и Pb ≥ 300 г/т. За внешние зоны приняты участки со слабоаномальными содержаниями Au, Pb, Zn, Cu во вторичных ореолах.

Состав структур, выделенных в центральной части рудного поля, различен (рис. 18). В составе аномального поля участков Находка и III Весенний главную роль играет медь, участков Прямой и Малыш — молибден и медь, участка Весенний — золото. В соответствии с доминирующей ролью главных элементов ядерные зоны АГХП над потенциальными рудными телами относятся к медно-порфировому, медно-молибден-порфировому и золото-серебряному типам. Хотя чувствительность экспрессного рентгенофлуоресцентного анализа на серебро не позволяет выделять слабые аномалии этого элемента в рыхлых отложениях, тип вторичных ореолов по составу здесь и в дальнейшем будет называться золото-серебряным, если золото-серебряная ассоциация подтверждается штуфным, бороздовым или керновым опробованием рассматриваемого участка.

Ядерные зоны различных типов геохимической специализации близки по морфологии: они имеют преимущественно эллиптическую, реже изометричную форму. Площадь зон от 0,04

до 1,27 км², в среднем, без учета мелких ядрышек, составляет 0,60 км². Простирание ядерных и промежуточных зон следующее: медно-порфировых — северо-западное, медно-молибден-порфировых — северо-западное и северо-восточное, золото-серебряных — северо-восточное. Простирание ядерных зон и собственно их развитие контролируется положением рудоподводящих разломов. Общий контур АГХП ограничен участками литохимической съемки, но есть предпосылки к тому, что выделенная порфирово-эпитермальная система полностью оконтурена, о чем свидетельствуют результаты литохимической съемки по вторичным ореолам М 1:50 000, выполненной предшественниками (Погорелов и др., 1985ф; прил. 2).



Геохимические ассоциации

- 14 As5Au4Mn4Zn3Pb3Cu2
- 14-1 Cu3Au2
- 14-1-1 Cu35Au22Mo4
- 14-2 Cu11Au5Mo3As2
- 14-2-1 Cu32Au12Mo8As3Ba2
- 14-3 As9Au9Mo6Cu6Pb6Ba2
- 14-3-1 Mo25Au22Cu15As6Pb5Ba2
- 14-4 As23Au15Sb8Mn6Cu6Pb5Zn5Ag3Mo3
- 14-4-1 Au68Mo42Ag23As23Pb23Sb15Cu13Se3Te3Zn3
- 14-5 Au29Pb24Zn14Mn13As8Cu5Ba3
- 14-5-1 Au59Pb28Zn20Mn14As9Cu7Ba3S2
- 14-5-2 Au80Pb31Zn16Mn15As9Cu4Ba3
- 14-5-3 Cu252Au208Ag162As67Pb62Sb31Zn28Te22.. ..Cd14Mn12Mo7Se4
- 14-5-4 Au96Pb39Mn23Zn17As15Cu6Ba4Mo3Cr2
- 14-6 Au23As23Pb20Mn11Cu10Zn8Mo4
- 14-7 Au10Cu9As5Mn4Mo4Pb4Zn3Ba3Cr2
- 14-7-1 Cu21Au9Mo9As4Ba3Mn2
- 14-7-2 Cu35Au22Mo11As7Ba3
- 14-7-3 Au42As6Cu4Ba3S3Pb2Fe2Cr2Zn2
- 14-7-4 Au49Pb16As7Cu7Zn5Ba3S3Mn3Fe2Cr2
- 14-7-5 Mo18Au15Cu12As11Ba3
- 14-7-6 Au29As7Cu6Mn6Zn5Pb5Ba4Cr3Fe2
- 14-8 Au9Cu8As6Mn6Pb5Mo5Zn4Ba3Cr3
- 14-8-1 Mo27Cu22Au12As9Pb5Mn4Zn3Ba3Cr2
- 14-9 As12Au10Cu8Mn6Zn3Mo3Cr3
- 14-9-1 Cu32As12Au9Mo8Mn8Zn2Cr2
- 14-9-2 Au48As38Cu14Mn6Pb5Zn4Mo3Fe2

Тектонические нарушения:

главные

второстепенные предполагаемые

Рисунок 18. Модель аномального геохимического поля центральной части Находкинской ПЭС

Чистым представителем АГХП медно-порфирового типа является аномальное поле участка III Весенний. В состав его ядерной зоны входит ограниченный круг элементов: главным является Cu (K_C = 32–35), основными спутниками — Au (12–22), Mo (4–8). В контуре ядерной

зоны 14-2-1 зафиксированы повышенные содержания мышьяка (K_C = 3). Промежуточные зоны имеют идентичный состав, отличаясь лишь понижением степени концентрации главных элементов.

В составе АГХП участка Находка выделяется крупная ядерная часть медно-порфирового типа, которая обрамляется с северо-востока мелкими ядрами золотой специализации, а с югозапада — интенсивной аномалией медно-молибден-порфирового типа, которая может рассматриваться как северное продолжение рудного штокверка участка Прямой. Меднопорфировая ядерная часть относительно аналогичных структур участка III Весенний характеризуется близкой геохимической ассоциацией. С составе ядер золото-серебряного типа ведущую роль играет золото (K_C золота по сравнению с ореолами над медно-порфировыми штокверками возрастает до 49), в ассоциации появляются спутники: свинец, цинк, марганец. Медно-молибден-порфировая ядерная часть характеризуется доминированием молибдена над медью (K_C Мо = 18 против K_C Сu = 12). В переходной зоне АГХП участка Находка проявлены аномалии слабой и средней интенсивности Au, Cu, As, Mn, Mo, Pb, Zn.

Во вторичных ореолах участка Прямой значительную площадь занимает ядерная зона медно-молибден-порфирового типа, в которой, помимо высоких содержаний молибдена ($K_C = 27$, максимальная концентрация в литохимических пробах — 313 г/т Мо), в ассоциации в качестве второстепенных элементов присутствуют медь, золото, мышьяк, свинец, марганец, цинк, что говорит о пространственном совмещении парагенезисов разных стадий рудоотложения. Те же элементы с меньшими коэффициентами концентрации представляют ассоциацию обрамляющей переходной зоны. Состав золотосодержащей ядерной зоны на юге участка крайне пестрый: помимо повышенных концентраций золота, здесь отмечается высокое концентрирование мышьяка (как упоминалось выше, за счет развития не только блеклых руд, но и арсенопирита), полиметаллов и незначительное превышение фона по молибдену. Химический состав соответствующей переходной зоны идентичен, концентрации главных элементов сокращаются в 2–4 раза.

На участке Малыш ядерная зона во вторичных ореолах относится к медно-молибденпорфировому типу и ее состав близок подобной структуре участка Прямой. В соответствующей промежуточной зоне резко падают содержания молибдена ($K_C = 6$ против $K_C = 25$ в ядерной зоне).

Вторая ядерная зона оконтурена по результатам сколкового опробования плотика полигона отработки золотой россыпи, то есть фактически по первичным ореолам оруденения (подробное описание первичных ореолов Находкинского рудного поля, вскрытых скважинами, приводится в разделе 5.3). В геохимическую ассоциацию вошел более широкий круг элементов, чем в ассоциации ядерных частей, выделенных по вторичным ореолам, за счет элементов,

содержания которых в рыхлых отложениях ниже предела их обнаружения. Главными в ассоциации являются золото ($K_C = 68$) и молибден ($K_C = 42$), их основными спутниками — Ag, As, Pb, Sb, Cu, второстепенными — Se, Te, Zn. Данная ассоциация интерпретируется как совмещение в пространстве оруденения порфирового этапа развития ПЭС и эпитермальных золото-серебряных руд, близких по составу оруденению месторождения Весеннее. Промежуточную зону не удалось оконтурить полностью из-за ограниченности площади съемки, но по опробованным фрагментам можно сказать, что ее состав мало отличается от состава ядерной части, но из ассоциации исчезают Se и Te.

Ядерные части АГХП золото-серебряного типа месторождения Весеннее отличает геохимическая ассоциация с существенным накоплением золота (K_C до 96), высокими степенями концентрации свинца (до 39), цинка (до 20), марганца (до 23), мышьяка (до 9). Медь занимает второстепенную позицию, но все же присутствует в составе вторичных ореолов со средним содержанием 150 г/т и $K_C = 4-7$. Промежуточная зона АГХП месторождения Весеннее по сравнению с ядерными обеднена втрое золотом, но содержания основных спутников (Pb, Zn, Mn, As) остаются на том же уровне.

Как и на участке Малыш, на месторождении Весеннее проводилось сколковое опробование первичных ореолов оруденения, результаты которого привели к выявлению ядерной зоны АГХП медно-порфирового типа, в составе которой доминирующими являются медь (K_C в рудах 252), золото (208) и серебро (162). В широкий спектр элементов, составивших ассоциацию ядерной зоны, вошли также полиметаллы, мышьяк и сурьма, теллур и селен. Присутствие последних, а также повышенные концентрации золота и серебра в первичных ореолах, свидетельствуют в пользу совмещения продуктивных минерализованных зон порфирового и эпитермального этапов. Распространение медно-порфировых руд на глубину подтвердилось бурением современного этапа разведки рудного поля (рис. 32 раздела 5.3).

На основе модели строения АГХП Находкинской ПЭС было проведено структурирование аномальных вторичных ореолов опробованных участков Баимской зоны. В приложении 2 на картах вторичных ореолов Cu, Au, Mo, As, Pb, Zn показаны контуры внешних, промежуточных и ядерных частей АГХП и результат их объединения в поля отдельных порфирово-эпитермальных систем. В приложении 3 приводятся кадастр структур с указанием их параметров (площади, средние содержания, площадные и удельные продуктивности Cu, Au, Mo) и типоморфных ассоциаций элементов.

На территории Баимской зоны суммарно выделено 55 ядерных частей АГХП меднопорфирового и медно-молибден-порфирового типов и 10 ядер золото-серебряных АГХП площадью от 0,03 до 1,27 км².

Выделенные на площади участка Лучик ядерные структуры АГХП приурочены к пересечениям линейных зон трещиноватости северо-западного и северо-восточного простирания в монцодиорит-порфирах егдыгкычского К₁е комплекса и вмещающих их вулканитах. Они имеют однотипный верхнеюрских состав вторичных ореолов, формирующихся В рыхлых образованиях при выветривании медно-порфировых золотосодержащих штокверков. Доминирующим в геохимическом спектре является золото, а степень концентрации меди ниже, чем в аналогичных структурах Находкинского рудного поля (К_C ≈ 10 против 32–35 для ядерных частей вторичных ореолов участков III Весенний и Находка). Это может свидетельствовать о развитии преимущественно бедных меднопорфировых руд с повышенными относительно обычных концентрациями золота. В гипергенном поле практически не проявлены высокие содержания свинца и цинка, что говорит о слабом развитии полисульфидной минерализации в этой части Баимской зоны.

Площадь участка Топь принадлежит к долинному лесотундровому ландшафту и представляет собой полностью закрытую растительным покровом поверхность. В силу задернованности участок характеризуется неблагоприятными для геохимических поисков условиями, а большая мощность рыхлых отложений (местами > 3 м) приводит к формированию ослабленных у поверхности остаточных механических вторичных ореолов. На территории участка выделены лишь две промежуточные структуры АГХП с небольшим обогащением вторичных ореолов золотом, марганцем, медью, мышьяком, цинком ($K_C = 2-4$). Зоны приурочены к западным эндо- и экзоконтактам Егдыгкычского массива, представленного на участке диоритами и габбро. При ревизионных работах в плотике полигона установлена зона северо-восточного простирания мощностью около 200 м с развитием кварц-сульфидных (халькопирит, пирит) и кварц-карбонат-сульфидных (галенит, сфалерит, халькопирит) прожилков в кварц-биотит-калишпатовых метасоматитах. По результатам бурения шести наклонных поисковых скважин глубиной от 100 до 250 м (Читалин и др., 2014ф) выделены разрозненные и непротяженные интервалы медной минерализации, причем содержание пирита значительно превышает содержание халькопирита.

Ядра АГХП, выделенные на участке Егдыгкыч, приурочены к зоне северо-западного Егдыгкычского разлома и оперяющих его северо-восточных разрывных нарушений в монцодиоритах егдыгкычского K_1 е комплекса, локально прорванных дайками монцонит-порфиров второй фазы и сиенитов третьей фазы комплекса. По геохимической ассоциации преобладают ядерные структуры медно-порфирового типа с наложенной полисульфидной минерализацией: $K_C Cu = 9-12$, $K_C Pb = 2-17$, $K_C Zn = 2-3$. Ядро 4-1-1 является представителем чистого медно-порфирового типа (геохимический спектр Cu_9Mo_3), а в составе ядерной зоны 4-3-1 наблюдаются резко повышенные концентрации золота ($K_C = 91$), которые, обусловлены

попаданием в контур аномалии литохимической пробы с содержанием Au ≥ 1 г/т. Как и на участке Лучик, степень концентрации меди во вторичных ореолах невысока, что говорит не в пользу медного потенциала участка.

Ядерные части АГХП Кустовской ПЭС приурочены к восточному контакту монцодиоритов Егдыгкычского массива с вмещающими позднеюрскими вулканогенноосадочными породами и к зонам тектонических нарушений внутри массива и объединяются вытянутыми промежуточными зонами меридионального простирания. Поскольку на участке проводилась съемка по детальной сети 100×20 м, выделенные по ее результатам ядерные структуры имеют дробную морфологию. В составе АГХП присутствуют ядра одного — меднопорфирового — типа, состав которых определяет широкий спектр элементов: Си (K_C = 15–43), Au (K_C до 23), Ag, Pb, Zn, As, Mn, Mo. Отдельные структуры по степени концентрации главных металлов сопоставимы с медно-порфировыми ядрами Находкинского рудного поля, но отличаются меньшей площадью. Ядро 5-9-1 характеризуется непривычным доминирующим положением серебра в геохимическом спектре (K_C = 42), что вызвано наличием в контуре зоны четырех литохимических проб с концентрацией Ag около 20 г/т при низких концентрациях ожидаемых спутников (Au, Pb, Zn).

В долине р. Песчанка на территории участка Северная Песчанка аномалии рудных элементов в рыхлых отложениях относятся к типу механических шлейфов и оторванных наложенных (сорбционных) ореолов в аллохтонных отложениях, переходящих в потоки рассеяния в русловой фации аллювия. Их источники расположены в бассейнах водосборов выше по течению и характеризуются более высокой интенсивностью вторичных остаточных ореолов. По этой причине аномалии меди и золота по долине реки не были оконтурены при выделении структур АГХП участка Северная Песчанка, несмотря на формальное соответствие критерию уровня содержаний Си, Аи.

Западнопесчанкинская ПЭС условно выделяется в западной части Егдыгкычского массива. В состав ее геохимического поля входят слабоконтрастные площадные аномалии меди и золота, относящиеся по своим характеристикам к внешним зонам АГХП, которые, вероятно, соответствуют зонам пиритизации с убогой медной минерализацией и маломощными непротяженными зонами прожилкования золото-полисульфидной формации. Все пункты минерализации (золото, медь, молибден), выделяемые на данном участке предшественниками, относятся к долине р. Левая Песчанка, большая их часть — к полигонам россыпной золотодобычи, которые в настоящее время заилены.

Строение АГХП Песчанкинской порфирово-эпитермальной системы подробно рассматривается в работе Николаева и др., 2016 (в редакции). Ядерные зоны меднопорфирового типа большой площади относятся к выходам на поверхность трех крупных

штокверков месторождения Песчанка — Главного, Центрального, Северного — и группируются в стержневой субмеридиональной зоне дробления в кварц-калишпатовых и кварц-серицитовых метасоматитах, развитых по монцодиорит-порфирам второй фазы егдыгкычского К₁е комплекса. В геохимической ассоциации вторичных ореолов главными элементами являются золото (К_С до 75), медь (до 66), молибден (до 56), второстепенными — свинец, мышьяк, цинк. Интенсивность аномалий затухает к северу, что может быть связано с ослаблением вторичных ореолов в отложениях долины р. Песчанка и выклиниванием рудного кластера. В переходных зонах медно-порфирового типа, при падении концентраций меди и золота в рыхлых отложениях, сохраняется интенсивность аномалий свинца и цинка, что говорит о распространении полисульфидной минерализации за пределы рудных штокверков.

На правобережье р. Песчанка в области контакта монцодиоритов Егдыгкычского массива с вмещающими позднеюрскими вулканитами выделены ядерная и промежуточная зоны, отвечающие по составу золото-сульфидной минерализации (степень концентрации Au до 165, Ag до 5, Pb до 4, Zn до 2).

Таллахская ПЭС выделена в южной части Егдыгкычского массива и включает также аномалии во вторичных ореолах, развитых над минерализованными зонами в позднеюрских вулканогенных осадках. Ядерные зоны, локализованные в составе внешней зоны 11, приурочены к маломощным (первые метры) зонам дробления и сульфидизации в пропилитизированных монцодиоритах егдыгкычского К₁е комплекса. Состав их простой — Cu₁₂Mn₂Au₂ и Cu₁₃Au₂Pb₂, говорит о слабом развитии полиметаллической минерализации в контуре прогнозируемого бедного медно-порфирового штокверка и по степени концентрации элементов сравним с ядерными частями участка Егдыгкыч. В составе ядерной зоны 11-3-1 отмечается резкое преобладание золота над медью (Au₁₆₅Cu₃), однако, штуфным опробованием значимых концентраций Au в первичных образованиях не обнаружено. Во вторичных ореолах в экзоконтакте Егдыгкычского массива и за его пределами в позднеюрских вмещающих вулканитах выделяется серия ядерных зон АГХП северо-восточного простирания. Ядра меднопорфирового типа характеризуются средней интенсивностью накопления меди (К_с до 28), равноправным положением золота в геохимическом спектре (К_С до 27) и повышенными содержаниями свинца и цинка (концентрации в литохимических пробах достигают 0,17% Pb и 0,07% Zn). На северо-западе ПЭС выделяется мелкое ядро с ассоциацией Au₈₀Mo₆Ni₄Ba₃Pb₂, которое вследствие отсутствия повышенных содержаний меди во вторичных ореолах было отнесено к эпитермальному золотосодержащему типу. Однако, геологических наблюдений в этой части площади опробования не производилось и минералогическими данными типизация не подкреплена. Наконец, в междуречье ручьев Таллах и Мул в области внедрения штока монцодиоритов второй фазы егдыгкычского комплекса в вулканогенно-терригенные породы

волжского яруса выделено ядро 13-1-1, геохимическая ассоциация которого характеризуется резким преобладанием золота над медью и молибденом (Au₉₂Cu₈Mo₅Ni₃). Ядерная зона на отдельных интервалах вскрыта канавами предшественников и представляет собой бедный медно-порфировый штокверк кварц-сульфидных прожилков с пирит-халькопиритовой минерализацией, но относительно высокими содержаниями золота. Содержания меди по данным штуфного опробования полотна канав и развалов 2013 г., как правило, не превышают 0,2-0,3%, в то время как содержания золота в бедных медных рудах достигают 2–4 г/т.

В составе АГХП Светлинской ПЭС выделяются три внешние зоны в тектонических блоках, разделенных крупными разломами широтного и север-северо-западного направлений.

Зоны 17 и 18 приурочены к слабоизмененным верхнеюрским вулканогенно-терригенным породам и отличаются простой геохимической ассоциацией вторичных ореолов — Cu₃ и Ni₃Cu₃. В поисковых маршрутах здесь выявлено несколько пунктов с медной и молибденовой минерализацией, представленной небольшими выходами прожилковых зон кварц-сульфидного состава.

Площадь зоны 19 сложена преимущественно вулканитами волжского яруса, прорванными телом диоритовых порфиритов весеннинского K₁vs комплекса. Структурно зона приурочена к крупному разлому север-северо-западного простирания, и в зоне дробления, связанной с ним, и в экзоконтактах интрузивного тела проявлены аргиллизиты и кварцсерицитовые метасоматиты с прожилковой и вкрапленной медно-молибденовой и золотосеребряной минерализацией. В поисковых маршрутах в полигоне руч. Правый Светлый прослежен и опробован медно-порфировый штокверк, а на прилегающей территории выявлены новые проявления медно-молибденовых руд и зоны кварцевого прожилкования с галенитсфалеритовой минерализацией эпитермального типа. По данным опробования содержания меди в рудном штокверке составили 0,2-0,5% (до 1%), а его размеры были оценены не менее чем 800×300 м. Во вторичных ореолах областям минерализации соответствуют ядерная зона меднопорфирового типа с геохимической ассоциацией Cu₂₄Au₁₇Pb₈Mo₆S₅As₃Zn₃Mn₂ и ядерная зона золото-серебряного типа состава Au₁₃₁Pb₁₁As₄Zn₃. В промежуточной зоне медно-порфирового типа закономерно падают концентрации меди и золота и доминирующим элементом становится свинец ($K_{\rm C} = 16$), что отражает развитие на флангах рудоносной структуры кварц-карбонатного прожилкования с галенит-сфалеритовой минерализацией в аргиллизитах. Обширная промежуточная зона золото-серебряного типа не отличается по составу от ядерной, характеризуется меньшей интенсивностью ореолов главных элементов (Au, Pb, Zn, As).

Омчакская ПЭС картируется на юго-востоке Баимской зоны и охватывает бассейн среднего течения р. Омчак (междуречья Омчак – Правый Светлый – Чижик). Здесь блок юрских вулканогенно-терригенных осадков осложнен тектоническими нарушениями северо-западного

и северо-восточного направления и прорывается телами весеннинского K_1 vs гранодиоритового комплекса и мелкими дайками омчакского K_2 о комплекса. В контуре ПЭС по слабым аномалиям меди, золота, молибдена, цинка ($K_C = 2-3$) выделяются относительно обособленные внешние зоны АГХП медно-порфирового типа.

Таким образом, ядерные части АГХП медно-порфирового типа ассоциируют на территории Баимской зоны с диоритами, монцодиоритами, монцодиорит-порфирами и другими породами раннемелового егдыгкычского комплекса; приурочены к зонам дробления и трещиноватости в областях заложения разрывных нарушений северо-западного и северовосточного направления. Реже отмечается их развитие во вмещающих позднеюрских вулканогенно-терригенных осадках в экзоконтакте Егдыгкычского массива. И единичным случаем стало выявление ядерной структуры медно-порфирового типа в зоне дробления в вулканитах волжского яруса без видимой привязки к телам егдыгкычского магматического комплекса (не вскрыты эрозией?).

Состав медно-молибден-порфировых ядерных зон вторичных ореолов меняется от простого, когда в геохимической ассоциации с повышенными коэффициентами концентрации представлены только главные элементы руд — медь, молибден, золото, до усложненного, когда к основным металлам добавляются свинец, цинк, мышьяк, марганец. Второй вариант соответствует случаю наложения субэпитермальной и/или эпитермальной полисульфидной минерализации на объем медно-порфировых руд. Полиметаллы, как правило, присутствуют в составе переходных зон медно-порфирового типа в концентрациях не ниже, чем в ядерных.

Среди геохимических ассоциаций, характерных для ядер медно-порфировых АГХП, выделяются группы: 1) с преобладанием в геохимическом спектре меди над прочими элементами; 2) с преобладанием молибдена над медью; 3) с доминированием золота в составе вторичных ореолах. Первая группа интерпретируется как соответствующая гипергенному полю рядовых халькопирит-пиритовых медно-порфировых руд (выявлены в составе каждой продуктивной ПЭС). Вторая группа ассоциаций, очевидно, отражает состав вторичных ореолов над молибден-медно-порфировыми штокверками (штокверки Малыш, Прямой Находкинской ПЭС). Третий тип ассоциаций при низких коэффициентах концентрации меди ($K_C < 12$) соотносится с составом вторичных ореолов над бедными медно-порфировыми рудами с повышенными относительно обычных концентрациями золота (Юряхская ПЭС). Случай одновременно высоких степеней концентрации золота и меди соответствует богатым золотомедно-порфировым рудам (штокверк Главный месторождения Песчанка).

Площадная продуктивность медно-порфировых ядер Баимской зоны меняется от $n \cdot 1000 \text{ м}^2$ % Си в самых мелких выделенных структурах до $n \cdot 100\ 000\ \text{m}^2$ % над известными штокверками месторождения Песчанка и штокверком III Весенний. В среднем составляет

25 000 м²% Си. Около половины медного потенциала Баимской зоны заключено во внешних и переходных зонах АГХП.

Ядерные зоны АГХП золото-серебряного типа не получили широко развития на территории Баимской зоны. Единственным ярким представителем этого типа стало аномальное поле месторождения Весеннее.

5.2. Оценка содержаний полезных компонентов в рудах по их содержаниям во вторичных ореолах в условиях гипергенного перераспределения

Определение коэффициента остаточной продуктивности. Оценка ожидаемых содержаний химических элементов в рудах по их содержаниям во вторичных ореолах в поисковой геохимии рассматривается в качестве обратной задачи, которая редко используется на практике, хотя и имеет решение для мощных рудных тел и тел простой формы (Соловов, 1985). При этом содержание ценного компонента в руде является не менее важным параметром инвестиционной привлекательности объекта, чем масштаб запасов. Так, например, в районах со слабо развитой инфраструктурой нижним порогом при разработке медно-порфировых месторождений является около 1% условной меди.

Штокверки медно-порфировых месторождений с точки зрения геохимических поисков относятся к мощным рудным телам. Обладая крупными размерами, они проявляются на уровне современного эрозионного среза в виде столь же крупных аномалий Cu, Mo и Au в рыхлом элювио-делювии. Ореолы рассеяния часто имеют «коробчатый» вид, с характерным плоским максимумом на графиках распределения элементов. Соотношение между содержаниями металлов в рудах $\overline{C_p}$ и вторичных ореолах в области плоского максимума $\overline{C_{max}}$ связаны между собой коэффициентом пропорциональности (коэффициентом остаточной продуктивности) k: $\overline{C_p} = \overline{C_{max}}/k$ (Справочник..., 1990; Дубов, 1974).

Перераспределение элементов в гипергенных процессах зависит от форм их нахождения в ореолах рассеяния и местных ландшафтно-геохимических условий.

Накопление металла в остаточном ореоле по сравнению с коренным оруденением может происходить в результате гравитационной дифференциации минералов по плотности, повышенной растворимости породообразующих (вмещающих) минералов, испарительной, биогенной и сорбционной аккумуляции элемента у дневной поверхности. В таком случае вторичный ореол обогащается, что будет характеризовать коэффициент k > 1.

Элементы, которые в рассматриваемых условиях среды ведут себя как активные водные мигранты, могут вымываться из верхних горизонтов элювио-делювия атмосферными осадками, в результате чего остаточный ореол ослабляется (k < 1), вплоть до перехода в закрытое состояние.

Для определения коэффициента остаточной продуктивности на территории Баимской зоны проводились опытно-методические работы, в ходе которых с участием автора было произведено литохимическое опробование рыхлых отложений с глубины 20-30 см с шагом 20 м вдоль бортов канав месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля. Пробы были проанализированы в лаборатории «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва) методами ICP-MAES на 40 элементов и пробирным с атомно-абсорбционным окончанием на золото.

Для характеристики оруденения полотно канав было опробовано сотрудниками ЗАО «Сибгеоконсалтинг» (г. Красноярск) бороздовыми секциями длиной 0,6-3,0 м, которые анализировались в той же лаборатории и теми же методами, что и литохимические пробы.

На месторождении Песчанка опробованию были подвергнуты борта двух канав, и еще для шести использовались данные съемки по вторичным ореолам по ближайшим профилям, пройденным параллельно канавам (шаг отбора проб — 50 м; метод анализа — экспрессный XRF) (рис. 19, 20). Систематические расхождения между результатами ICP-MAES и экспрессного XRF анализов были устранены введением поправочных коэффициентов, полученных по итогам исследования воспроизводимости анализа двумя местодами (раздел 4.2).



Рисунок 19. Расположение магистральных канав в ландшафтных условиях участков выходов Главного и Центрального штокверков месторождения Песчанка (фото Г. Джеджея)

Канавы КР10-108-105, 106, 107, 109-110-111 вскрывают Главный штокверк в южной части участка в горно-тундровом рельефе с развитием склонов средней крутизны (15-25°) на отроге водораздела рек Песчанка и Баимка. Разрез рыхлых образований на склонах имеет простое трехчленное строение. В верхней части развит маломощный горизонт «А» (менее 10 см), включающий дернину и грубогумусовый слой. Ниже он переходит в плохо выраженный



Рисунок 20. Положение канав месторождения Песчанка, на которых проводились опытнометодические работы по определению коэффициента остаточной продуктивности

иллювиальный горизонт «В» (10-20 см), представленный щебнистыми супесями и суглинками, скрепленными корневой системой растительности. Горизонт «В» сменяет крупнообломочный горизонт «С» с песчано-глинистым заполнителем.

Канавы КР10-115, 117, 118, 119 пересекают Центральный штокверк и пройдены в центральной части месторождения, для которой характерны пологие (менее 15°) склоны следующего отрога водораздела. Участок покрыт лиственничным редколесьем и кустарниковой растительностью, характерной для лесотундрового типа ландшафтов. В составе разреза рыхлых образований появляется торфянистый горизонт. Возрастает по мощности грубогумусовый горизонт «А», который залегает на глинистом (со щебнем) иллювиальном горизонте «В», постепенно переходящем в обломочно-щебнисто-глинистый горизонт «С». Горизонт «С» по простиранию фациально замещается пролювиальными и солифлюкционными отложениями на сопряжении с долиной р. Песчанка.

Мощность рыхлых образований в среднем составляет около 2 м, в местах сопряжения с долиной (в районе Центрального штокверка) она увеличивается до 5 м, что является предпосылкой к формированию здесь ослабленных вторичных ореолов.

Сопоставление результатов сопряженного опробования коренных пород и рыхлых образований свидетельствует о влиянии ландшафтных обстановок на перераспределение рудных элементов в зоне гипергенеза месторождения (табл. 15, прил. 4).

Таблица 15

Канава	Cu	Mo	Au	Ag	As	Sb	Pb	Zn			
Лесотундровый ландшафт (Центральный штокверк)											
KP10-119	0,85	_	_	_	0,94	_	1,42	1,18			
KP10-118	0,71	1,01	_	_	_	_	—	1,20			
KP10-117	0,81	_	_	_	0,68	_	—	1,30			
KP10-115	0,48	0,89	—	—	0,71		1,94	1,34			
Ср. геом.	0,70	0,95			0,77		1,66	1,25			
Горнотун	ндровы	ій ланд	шафт	(Главн	ый шт	окверк)				
KP10-109-110-111	0,81	1,34	—	—	0,65	—	1,95	0,95			
KP10-107	0,74	0,98	1,04	0,81	0,94	—	2,52	1,12			
KP10-106	0,88	1,26	—	—	0,95	2,00	2,39	1,10			
KP10-108-105	0,81	1,33	0,85	0,68	1,05	1,44	2,67	0,91			
Ср. геом.	0,81	1,22	0,94	0,74	0,88	1,70	2,37	1,02			

Коэффициенты остаточной продуктивности к в ландшафтах месторождения Песчанка

«-» — достоверную оценку коэффициента остаточной продуктивности произвести невозможно

Расчеты численных значений коэффициентов остаточной продуктивности k свидетельствуют о слабом выносе Cu и As (k < 1) из профиля выветривания, отсутствии скольлибо существенного накопления—выноса Mo ($k \approx 1$) и обогащении вторичных ореолов Pb, Zn (k > 1) в лесотундровых ландшафтах северной части месторождения. В горнотундровых

ландшафтах его южной части наблюдается сходная картина: проявляется слабый вынос Cu, As и Ag (k < 1), нейтрально себя ведут Au, Zn ($k \approx 1$), вторичные ореолы незначительно обогащены Mo, Sb и сильно — Pb (k > 1). Общей тенденцией вне зависимости от ландшафтных особенностей является вынос Cu и As и обогащение вторичных ореолов Pb.

Тенденция к выносу меди наиболее заметно проявлена в лесотундровом ландшафте (рис. 21).



Рисунок 21. Сравнение результатов сопряженного опробования полотна и бортов канав, вскрывающих медно-молибденовые штокверки месторождения Песчанка

В горно-тундровом ландшафте с выпуклым склоном средней крутизны канавой КР10-108-105 вскрыты околорудные метасоматиты и Главный штокверк с богатым медным оруденением (0,4-1,2% Cu) на интервале 220-620 м. Содержания меди в рыхлых образованиях над рудами укладываются в диапазон 0,2-1% и в среднем обеднены на 20%. Максимумы и минимумы концентраций меди во вторичном и первичном ореолах не всегда коррелируют за счет смещения вторичных ореолов вниз по склону.

Канава КР10-115 на пологом склоне лесотундрового ландшафта вскрывает рядовые медные руды Центрального штокверка, на интервале 200-700 м характеризующиеся

содержаниями 0,1-0,8% Си. Соответствующий вторичный ореол обеднен вдвое: его характеризует равномерное распределение меди в диапазоне 0,1-0,3%. Различия в степени обеднения вторичных ореолов могут быть объяснены формами нахождения меди в рыхлых отложениях. Лубковой Т.Н. с коллегами (Лубкова и др., 2015б) методом последовательных селективных экстракций показано, что выветривание богатых борнит-халькопиритовых руд в горнотундровых ландшафтах Главного штокверка приводит к закреплению меди в рыхлых отложениях в виде собственных минеральных фаз (основных сульфатов, карбонатов, аморфных силикатов) и внутрисферных комплексов с оксидами и гидроксидами железа (ферри-форм). В лесотундровых ландшафтах возрастает содержание тонкодисперсной глинистой фракции и органического вещества, что приводит к увеличению доли легкоподвижных сорбированных форм меди и ее органоминеральных комплексов. Связывание с оксидами и гидроксидами железа также является приоритетным механизмом закрепления меди в рыхлых отложениях над Центральным штокверком, однако более восстановительные условия могут препятствовать образованию ферри-форм (или способствовать высвобождению меди в раствор при их разрушении).

На площади Находкинского рудного поля было опробовано семь канав: KN11-04 и 05 на участке Находка; KN11-07, 08, 09 — на участке Прямой; KN11-10, 11A — на участке Весенний (рис. 22, 23). Канавы пройдены в лесотундровых ландшафтах низких отрогов, спускающихся к долине р. Баимки в ее верховьях, с плоскими водоразделами и склонами переменной крутизны с кустарниковой и лиственничной растительностью.

Профили канав на участках преимущественно пологие, с углами склона 2-7° (КN11-04, 07, 09, 10), на отдельных участках и интервалах канав уклоны более крутые и углы наклона составляют 7-12°, на небольших интервалах — более 15° (КN11-07, 08, 11А).

В верхних частях склонов наблюдается развитие слабооподзоленных супесных почв, развитых под травяным и мохово-кустарничковым покровам лиственничных редколесий. В нижних частях развиты торфянисто-болотные глинистые почвы на делювиальных отложениях у подножий склонов. В условиях пологих склонов и повышенной увлажненности развиты солифлюкционные процессы.

Разрез рыхлых образований на склонах и приводораздельных участках имеет простое трехчленное строение. В верхней части развит маломощный горизонт «А» (менее 10 см), включающий дернину и грубогумусовый слой. С глубиной он переходит в плохо выраженный иллювиальный горизонт «В» (10-20 см), представленный щебнистыми супесями и суглинками, скрепленными корневой системой растительности. Горизонт «В» сменяет крупнообломочный горизонт «С» с песчано-глинистым заполнителем. В нижних частях склона и на участках сопряжения с речными долинами мощность почвенного разреза увеличивается. В составе



Рисунок 22. Определение коэффициента остаточной продуктивности на участках Находкинского рудного поля: положение опробованных канав и их профили



Рисунок 23. Ландшафт приводораздельной части пологого склона участка Находка и канава KN11-04, пересекающая небольшой ручей

разреза появляется торфянистый горизонт, возрастает по мощности грубогумусовый горизонт «А», который залегает на глинистом (с присутствием щебня) более выраженном иллювиальном горизонте «В». Горизонт «В» постепенно переходит в обломочно-щебнисто-песчано-глинистый горизонт «С», представленный склоновыми образованиями, фациально сменяющимися аллювиальными отложениями долины. Мощность рыхлых образований по канавам варьирует от 1,5 до 2,7 м, иногда более 3 м.

Согласно расчетам коэффициентов остаточной продуктивности k по вторичным ореолам над медно-порфировыми штокверками Находкинского рудного поля (табл. 16) практически во всех обстановках происходит вынос Cu и Ag (k < 1; кроме осыпных участков крутых склонов, где $k \approx 1$); слабое накопление Au и Pb ($k \ge 1$), более интенсивное накопление Sb (k > 1). Нейтрально ведут себя, не проявляя существенного обогащения или обеднения во вторичных ореолах, Mo, As, Zn ($k \ge 1$).

Таблица 16

Канава	Обстановка		Mo	Au	Ag	As	Sb	Pb	Zn	
Медно-молибден-порфировое оруденение										
KN11-04	Нижние части пологих	0,57	1,12	1,46	0,73	1,01	Ι	Ι	—	
KN11-07	склонов, часто обводненные	0,56	1,00	1,08	0,78	0,83	1	1,32	1,02	
KN11-09	Нижние части склонов средней крутизны	0,63	1,00	0,86	0,77	1,16	1,55	1,30	1,03	
KN11-05	Средние части склонов средней крутизны	0,63	1,10	1,06	1,02	1,01	1,47	Ι	1,24	
KN11-07	Крутые осыпные склоны с	1,07	-	1,16	1,76	-	-	-	1,01	
KN11-08	низкой обводненностью	1,05	1,03	1,13	1,57	1,21	-	-	-	
	Золото-серебрян	ые эпи	термал	ьные р	уды					
KN11-10	Нижние части пологих	0,89	1,19	2,57	1,28	1,42	-	1,58	0,53	
KN11-11A	склонов, часто обводненные	1,33	-	1,17	1,12	1,17	-	1,57	0,96	
KN11-11A	Крутые осыпные склоны с низкой обводненностью	1,27	_	1,48	1,00	1,64	_	1,22	0,56	

Коэффициенты остаточной продуктивности к в ландшафтах Находкинского рудного поля

«-» — достоверную оценку коэффициента остаточной продуктивности произвести невозможно

На участках развития золото-серебряного оруденения в средних частях склонов вторичные ореолы незначительно обогащены золотом $k_{сргеом} = 1,32$ (KN11-11A). В нижних частях (KN11-10), где скорость перемещения материала падает и начинается высвобождение золота из кварца с формированием делювиальных россыпей, установлено существенное накопление золота в элювио-делювии: k = 2,57 (рис. 24).



Рисунок 24. К сравнению степеней обогащения вторичных ореолов золотом в средней части склона (KN11-11A) и у его подножия (KN11-10) на участке Весенний

Вторичные ореолы основных элементов-спутников золота (Ag, As, Cu, Pb) слабо обогащены относительно коренного оруденения (k > 1) и только для Zn характерен вынос из профиля выветривания (k < 1).

Исходя из результатов опытно-методических работ на месторождении Песчанка и участках Находкинского рудного поля (прил. 4, табл. 17), важнейшей особенностью формирования медно-порфирового вторичных остаточных ореолов оруденения В лесотундровых ландшафтах плоских водоразделов, пологих склонов и склонов средней крутизны, доминирующих Баимском районе, является повсеместно наблюдаемое В

выщелачивание из рыхлых образований Сu и Ag. Ослабление вторичных ореолов меди способно достигать 50% (по канаве KP10-115 $k_{Cu} = 0,48$). Примечательно, что вторичные ореолы, развитые над богатым Главным штокверком месторождения Песчанка, обедняются в меньшей степени по сравнению с остаточными ореолами рядовых медно-порфировых руд Центрального штокверка и участков Находка и Прямой. Возможно, это связано с закреплением меди в виде собственных минеральных фаз (карбонатов, сульфатов, силикатов) и преобладанием этой формы нахождения меди над другими (по данным Лубковой и др., 2015б).

Сопутствующие элементы медных руд в этих условиях либо не подвержены перераспределению (Mo, Au, As, Zn), либо характеризуются слабым накоплением во вторичных ореолах (Sb, Pb, k = 1,30-2,37). На не закрепленных лесотундровой растительностью крутых склонах выщелачивание рудных элементов не наблюдается вовсе в связи с быстрым обновлением вторичных ореолов рассеяния в результате эрозии.

Таблица 17

Элементарный ландшафт	Cu	Mo	Au	Ag	As	Sb	Pb	Zn
Медно-порфировое оруденение								
Нижняя часть пологого склона	0,65	1,00	1,26	0,75	0,82		1,54	1,20
Нижняя часть склона средней крутизны (рядовые руды, лесотундровый ландшафт)	0,63	1,00	0,86	0,77	1,16	1,55	1,30	1,03
Нижняя часть склона средней крутизны (богатые руды, горнотундровый ландшафт)	0,81	1,22	0,94	0,74	0,88	1,70	2,37	1,02
Средняя часть склона средней крутизны	0,63	1,10	1,06	1,02	1,01	1,47		1,24
Осыпные участки крутых склонов	1,06	1,03	1,14	1,66	1,21			1,01
Золото-сере	бряноє	е оруде	нение					
Подножие склона	0,89	1,19	2,57	1,28	1,42		1,58	0,53
Нижняя часть пологого склона	1,33		1,17	1,12	1,17		1,57	0,96
Осыпной склон	1,27		1,48	1,00	1,64		1,22	0,56

Средние геометрические значения коэффициентов остаточной продуктивности k в ландшафтах Баимской рудной зоны

Иные закономерности выявлены при изучении процессов формирования вторичных ореолов над жильно-прожилковыми зонами с золото-серебряным оруденением. В условиях низкого потенциала окисления малосульфидных золото-серебряных руд процессы выщелачивания металлов из вторичных ореолов здесь проявлены слабо, механическая миграция превалирует над солевой и для всех рудных элементов (за исключением Zn), наблюдается накопление в рыхлых образованиях.

Закрепление металлов во вторичных ореолах, вероятно, в результате гидролиза их сульфатов и снижения растворимости находит отражение в низких концентрациях микроэлементов в составе вод, дренирующих месторождение (Лубкова и др., 2013). Обособленное поведение цинка объясняется его подвижностью в широком диапазоне pH,

включая околонейтральные условия, свойственные нейтрализуемым карбонатами водам месторождения Весеннее (pH = 7,3-7,6, по данным Лубковой и др., 2015а).

Перераспределение элементов при формировании зоны окисления. Первичные руды сульфидных месторождений при выветривании подвержены гипергенным преобразованиям, которые приводят к вертикальной дифференциации элементов в результате формирования зон окисления в верхних частях рудных залежей.

Зона окисления может распространяться на глубину от первых до нескольких десятков метров, иногда — до нескольких сотен метров от поверхности. Окисление сульфидов и переход металлов в подвижную форму определяет существенное падение концентраций в приповерхностной подзоне выщелачивания, где типоморфными минералами становятся гетит, ярозит, гематит. Мигрирующие с растворами вглубь металлы могут закрепляться в виде оксидов, карбонатов и сульфатов, а на восстановительном барьере ниже уровня грунтовых вод образовывать вторичные сульфиды, по меди часто обогащенные по сравнению с первичными (зона вторичного сульфидного обогащения (ВСО)). В условиях длительного развития и благоприятного климата зоны ВСО на медно-порфировых месторождениях могут приобретать исключительное экономическое значение, определяя их промышленную ценность.

В других случаях зона окисления и выщелачивания и зона ВСО развиты слабо, не представляют промышленного интереса, но при этом способны существенно влиять на прогнозную оценку оруденения на ранних стадиях геологоразведочных работ. И тогда для оценки содержаний в первичных рудах $C_{\text{перв}}$ по содержаниям в гипергенно измененных рудах $C_{\text{изм}}$, вскрытых канавами, необходимо дополнительно вводить коэффициент $k_0 = C_{\text{изм}}/C_{\text{перв}}$.

Изучение зоны окисления на месторождении Песчанка и участках Находкинского рудного поля было проведено по данным документации и опробования керна 446 скважин. Длина интервала опробования колеблется от 0,7 до 3,5 м; приповерхностный интервал средней мощностью 4,3 м не опробован из-за низкого выхода керна. Пробы керна были проанализированы в лаборатории «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва) методом ICP-MAES с разложением смесью четырех кислот на 40 элементов и с окислительным растворением с HBr для проб с содержанием Cu > 1% и методом пробирного анализа с атомно-эмиссионным окончанием на Au. Полевая документация керна, в том числе с поинтервальным указанием содержаний главных сульфидов и вторичных минералов, была выполнена геологической службой «Сибгеоконсалтинг» (г. Красноярск).

В распределении содержаний меди по скважинам, пересекающим медно-порфировые штокверки, отмечается наличие в верхних частях разрезов зоны окисления и выщелачивания мощностью в среднем 14 м, максимально достигающей 49 м. На графиках она выражается в минимуме содержаний меди на первых интервалах скважин (рис. 25). При первичной
документации в минералогическом составе отмечено широкое распространение гидроксидов железа, медной зелени и медной сини, купрум-вада, куприта (рис. 26).



Рисунок 25. Пример распределения меди на глубину по скважинам, вскрывающим меднопорфировое оруденение



Рисунок 26. Распределение некоторых гипогенных минералов руд и продуктов их гипергенного преобразования по скважинам месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля (показаны первые 300 м от поверхности)

В разведанных штокверках месторождения Песчанка и участков III Весенний, Находка, Прямой фрагментарно присутствует слаборазвитая зона вторичного сульфидного обогащения, для которой характерны содержания меди, заметно превышающие относительно равномерные концентрации в первичных халькопирит-борнитовых рудах (например, скважина CH11-510, рис. 25). Мощность зоны ВСО колеблется от 1,1 до 45 м, в среднем составляет 7,7 м. Ей соответствует максимум распределения халькозина, фиксируемого при полевой диагностике.

Согласно тонким исследованиям минералогии руд и метасоматитов Находкинского рудного поля (Нагорная, 2013) среди минералов гипергенного этапа отмечаются антлерит, брошантит, купроалюминит, ярозит, сидерит, азурит, родохрозит, ферримолибдит, фаза Pb-O, минералы систем Fe-O-OH, Mn-O-OH и вторичные сульфиды: идаит, джарлеит, ярровит, анилит, дигенит, ковеллин, самородная медь.

По результатам статистической обработки геохимических данных и минералогических наблюдений по керну скважин составлена обобщенная схема минералого-геохимической зональности зоны гипергенеза, развитой в верхней части медно-порфировых штокверков (рис. 27). Средняя мощность выделенных зон и наблюдаемые содержания меди по участкам приведены в табл. 18.



Рисунок 27. Схема минералого-геохимической зональности медно-порфировых штокверков Баимской зоны, подверженных гипергенным преобразованиям

По совокупным данным можно отметить, что формирование зоны выщелачивания ведет к выносу более 50% меди, содержащейся в первичных рудах. В единичных скважинах в зоне выщелачивания наблюдаются содержания, превышающие концентрации в первичных рудах, что говорит о том, что эрозией была вскрыта зона ВСО и выщелачивание проходит по ней. Обогащение меди в зоне ВСО происходит в 2 до 5 раз.

Явное гипергенное перераспределение меди фиксируется только в половине рудных скважин месторождения Песчанка и заметнее проходит по штокверкам Находкинского рудного поля. Например, в 24 скважинах из 25, вскрывающих штокверк Находка с поверхности, отмечаются приповерхностные перепады концентраций меди, связанные с ее выщелачиванием

						Первичные
	Число	Зона оки	сления и	Зона	BCO	руды под
Участок	скважин	выщелач	ивания	John DCO		гипергенно
	(а / б / в [*])					измененными
		М _{ср} , м	С _{ср} , г/т	М _{ср} , м	С _{ср} , г/т	С _{ср} , г/т
Песчанка:	270 / 213 / 96	12,9	1247	9,3	7696	3682
Главный штокверк	218 / 183 / 78	12,3	1279	9,9	7224	3764
Центральный штокверк	24 / 17 / 11	11,5	1348	6,6	10237	3190
Северный штокверк	28 / 13 / 7	19,5	841	1,8	9880	1964
Малыш	11 / 7 / 4	23,1	376		_	1765
III Весенний	48 / 28 / 17	22,3	1589	3,9	7971	4280
Прирезок	3/2/2	19,3	568		_	3679
Находка	46 / 25 / 24	25,2	730	19,4	7041	2783
Прямой	35 / 11 / 8	14,6	1116	20,4	5671	2364
Весенний	33 / 9 / 6	21,7	558	_	_	1933

Средние мощности M_{cp} и содержания меди C_{cp} в зонах гипергенно измененных и гипогенных руд медно-порфировых штокверков месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля

^{*}а – общее число опробованных скважин; б – число скважин, вскрывающих рудное тело с поверхности; в – число рудных скважин, по которым проявлен процесс окисления

и переотложением в зоне ВСО. Это можно объяснить тем, что руды месторождения Песчанка низкопиритные: соотношение пирит : халькопирит в них ниже, чем в рудах участка Находка, а ведь именно окисление пирита катализирует гипергенные процессы за счет кислотообразования и перехода освобожденного Fe (III) → Fe (II). Небольшая доля рудных пересечений на месторождении Песчанка характеризуется оптимальным для формирования зоны BCO (Titley,

Marozas, 1995) соотношение пирит : халькопирит 4:1 (рис. 28).

Для каждой скважины рассчитывалось $k_0 = C_{\text{изм}}/C_{\text{перв}},$ отношение где $C_{\rm M3M}$ концентрация меди в первой вскрываемой скважиной зоне гипергенных преобразований (будь то зона окисления и выщелачивания по первичным рудам, по зоне ВСО или собственно зона ВСО) и С_{перв} — содержания в интервале первичных залегающих глубже руд, И являющихся субстратом гипергенных для Если процессов. по скважине процесс окисления не проявлен, коэффициент k₀ для нее принимался равным единице.



Рисунок 4. Соотношение пирит : халькопирит в окисляющихся рудах месторождения Песчанка и штокверка Находка

Проявленность процессов окисления руд и переотложения меди не удалось увязать с геоморфологическими характеристиками современного ландшафта. Уклон, кривизна и экспозиция поверхностей рассчитывались по цифровой модели рельефа М 1:10 000 в ArcMap при помощи инструментов модуля Spatial Analyst: Slope, Curvature и Aspect соответственно. Значения k_0 не коррелируют значимо с полученными параметрами рельефа.

Значения k_0 были сгруппированы по ландшафтной классификации, использовавшейся выше для коэффициентов остаточной продуктивности. В расчет средних геометрических k_0 для меди вошли значения только по рудным скважинам, попадающим в контур ядер АГХП. По тем же интервалам были рассчитаны коэффициенты для молибдена и золота, из их числа исключались отношения не аномальных содержаний (заменялись на единицу). В табл. 19 приведены значения коэффициента пропорциональности $K = k_0 \times k$, комбинирующего k_0 с традиционным коэффициентом остаточной продуктивности и отражающим суммарное перераспределение элементов гипогенных руд в результате процессов окисления и образования остаточных ореолов.

Таблица 19

Элементарный ландшафт	Cu Mo				Au				
	k	k_0	K	k	k_0	K	k	k_0	K
Медно-порфировое оруденение									
Нижняя часть пологого склона	0,65	0,64	0,42	1,00	0,73	0,73	1,26	0,76	0,96
Нижняя часть склона средней									
крутизны (рядовые руды,	0,63	1,02	0,64	1,00	0,92	0,92	0,86	0,92	0,79
лесотундровый ландшафт)									
Нижняя часть склона средней									
крутизны (богатые руды,	0,81	0,73	0,59	1,22	0,77	0,94	0,94	0,84	0,79
горнотундровый ландшафт)									
Средняя часть склона средней	0.63	0.65	0.41	1 10	1.07	1 18	1.06	0.71	0.75
крутизны	0,05	0,05	0,41	1,10	1,07	1,10	1,00	0,71	0,75
Осыпные участки крутых склонов	1,06	0,54	0,57	1,03	0,93	0,96	1,14	0,47	0,54

Коэффициенты пропорциональности между содержаниями Си, Мо, Аи во вторичных ореолах и неизмененных рудах медно-порфировых штокверков в ландшафтах Баимской зоны

Значения коэффициента $k_0 < 1$ для меди отражают тенденцию к формированию зон выщелачивания с выносом меди из подверженных выветриванию медно-порфировых руд. Исключение составляет обстановка нижних частей склонов средней крутизны, где, повидимому, преобладающим субстратом для выщелачивания становится зона ВСО, которая не только успевает сформироваться, но и вскрывается на поверхности эрозией. Для молибдена и золота, которое, согласно минералогическим исследованиям, находится в медных рудах в борните, реже в пирите и халькопирите, характерен менее значительный, но все же имеющий место вынос. Значения комбинированного коэффициента *К* показывает, что вторичные ореолы меди над медно-порфировыми штокверками ослаблены в среднем вдвое, золота — на четверть и незначительно ослаблены для молибдена (руды теряют в среднем 6% Мо). Миграционная способность главных химических элементов, оцененная через интенсивность их перераспределения в зоне окисления сульфидных руд, близка теоретической: Cu > Au > Mo.

5.3. Первичная зональность оруденения

При изучении геохимической зональности Находкинской порфирово-эпитермальной системы (Сидорина, 2015) использованы результаты опробования керна 175 скважин, пробуренных на изучаемой территории в 2010–2013 гг. на глубину в среднем 300 м. Поинтервальный (средняя длина интервала 2 м) анализ керна проводили в аккредитованной лаборатории «Стюарт Геокемикл энд Эссей», где выполнены: определение 40 элементов методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (разложение смесью четырех кислот), повторный анализ проб с содержанием Cu > 1% методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (окислительное растворение с HBr), определение Au методом пробирного анализа с атомно-эмиссионным окончанием. Помимо результатов химического анализа привлекалось минералогическое описание, проведенное ЗАО «Сибгеоконсалтинг» при документации керна, где каждый интервал охарактеризован процентным содержанием главных рудных минералов.

Первичная обработка данных о составе руд, первичных ореолов и вмещающих пород, как и для литохимических проб, характеризующих вторичные ореолы оруденения, заключалась в расчете параметров геохимического фона (табл. 20), статистическом анализе распределения концентраций элементов по участкам и оконтуривании областей аномального содержания меди и основных элементов-спутников в плане и по разрезам. Фоновые содержания были рассчитаны по коренным породам территории, наименее затронутым метасоматическими преобразованиями.

В геохимическом поле ПЭС высокую степень концентрации, помимо Cu, имеют Mo, Au, Pb, S, Zn, Ag, As, Cd, Mn, Sb (перечислены по убыванию значений коэффициента концентрации), также в пробах выявлены аномальные содержания Bi, Se, Te. Среди элементов пород и метасоматитов повышенные содержания демонстрируют S, Ti, Sr, Li, Ni, Al, V, Cr, Ba, Ca.

113

	Микроэлементы										
Va	Сф,			С _А , г/т		C n/m	% проб	% проб	% проб≥		
л.э.	Г/Т	ъ	C _{A1}	C _{A2}	C _{A3}	C_{max} , 171	< LOD	$\geq C_{A1}$	C _{A3}		
Ag	0,25	2	0,5	1	2	>200	52	52	19		
As	20	3	60	180	540	8365	88	34	2		
Au	0,005	2	0,01	0,02	0,04	71	92	92	73		
Ba	200	2	400	800	1600	>2000	100	26	0,2		
Bi	2,5	2	5	10	20	58	3	3	0,1		
Cd	0,5	2	1	2	4	400	20	20	8		
Ce	11	2,4	26	61	145	140	83	24	0		
Co	10	1,5	15	23	34	261	99	29	3		
Cr	30	1,7	50	83	139	1224	100	31	5		
Cu	30	2,8	85	241	682	43807	100	88	48		
Ga	5	1,5	8	11	17	22	58	10	0,004		
Hg	1	2	2	4	8	>500	1	1	0,2		
La	8	1,8	14	25	43	69	93	24	0,05		
Li	5	2,8	14	39	110	152	76	26	0,01		
Mn	500	1,4	700	980	1372	>20000	100	43	25		
Mo	0,5	2	1	2	4	2955	94	94	67		
Nb	0,5	2	1	2	4	3	0,5	0,5	0		
Ni	7	2,1	15	32	69	423	99	30	1		
Pb	10	1,5	15	23	34	>10000	98	51	34		
Sb	2,5	2	5	10	20	>2000	24	24	4		
Sc	7	1,3	9	12	15	47	45	19	7		
Se	5	2	10	20	40	467	5	5	0,2		
Sn	10	2	20	40	80	53	0,01	0,01	0		
Sr	100	2,4	240	576	1382	>2000	100	29	1		
Та	5	2	10	20	40	5	0	0	0		
Те	5	2	10	20	40	1059	2	2	0,2		
Tl	2,5	2	5	10	20	16	0,1	0,1	0		
V	45	2,4	110	269	657	910	94	25	0,01		
W	10	2	20	40	80	1619	0,1	0,1	0,03		
Y	7	1,7	12	21	35	48	100	15	0,02		
Zn	40	1,9	75	141	264	>10000	100	49	21		
Zr	7	1,4	10	14	20	55	100	21	2		

Параметры фона и минимально-аномальные содержания элементов в коренных породах Находкинской ПЭС (по результатам ICP-MAES анализа на 40 элементов и пробирного анализа с атомно-эмиссионным окончанием на золото)

(окончание таблицы на следующей странице)

	Макроэлементы									
$\mathbf{X} \rightarrow \mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\psi}$	C 04	S	C _A , %			C %	% проб	% проб	% проб≥	
л.э.	С _ф , %		C _{A1}	C _{A2}	C _{A3}	$C_{\text{max}}, 70$	< LOD	$\geq C_{A1}$	C _{A3}	
Al	0,6	0,3	0,9	1,2	1,5	6	100	43	20	
Ca	1	0,7	1,7	2,4	3,1	>10	100	35	13	
Fe	2,4	0,9	3,3	4,2	5,1	>10	100	42	17	
Κ	0,3	0,2	0,5	0,7	0,9	3	100	18	4	
Mg	1	0,6	1,6	2,2	2,8	7	100	19	4	
Na	0,05	0,02	0,07	0,09	0,11	1	98	41	12	
Р	0,07	0,05	0,12	0,17	0,22	>1	100	31	2	
S	0,18	0,12	0,30	0,42	0,54	>10	100	87	79	
Ti	0,005	0,005	0,010	0,015	0,020	1	38	38	29	

Таблица 20 (продолжение)

Рудные элементы в пределах Находкинской ПЭС согласно полевым и лабораторным минералогическим наблюдениям относятся к разным типам минерализации, сформировавшимся на медно-порфировом мезотермальном, переходном и эпитермальном этапах оруденения. С использованием полевого описания керна для некоторых типов возможно было рассчитать средние концентрации основных элементов (табл. 21).

Таблица 21

Минеральная	Ag	As	Au	Bi	Cu	Fe	Mo	Pb	Sb	Se	Te	Zn
ассоциация		Γ/Τ			%		Г/Т					
Пиритовая	3,2	109	0,32	2,9	1357	4,2	38	248	8,0	6,6	6,4	552
Халькопирит-	2.1	110	0.26	28	2675	2.2	50	149	0.1	63	57	208
молибденитовая	۷,1	119	0,20	2,0	2073	5,5	50	140	9,1	0,5	5,7	308
Борнитовая	1,0	111	0,30	3,0	4038	3,3	23	13	5,4	6,6	5,1	62
Блекловорудная	2,2	325	0,30	3,0	3457	3,2	49	169	23,8	7,0	5,5	346
Сфалерит-	0 1	124	0.60	20	001	25	26	074	74	50	71	1056
галенитовая	0,2	124	0,00	∠,0	001	3,3	30	9/4	7,4	5,8	/,1	1930

Средние содержания основных и сопутствующих рудных элементов в разных типах минерализации Находкинской ПЭС

Содержания меди в большинстве проб (88%) керна скважин превышают минимальноаномальный порог. В общем массиве данных 40% проб характеризуется уровнем рудных содержаний $\geq 0,1\%$ Си и 13% интервалов — $\geq 0,3\%$ Си. Визуально документируемая медная минерализация соответствует интервалам с содержанием 0,1% Си и выше, этот контур принят за границу рудного штокверка. В границах медно-порфировых штокверков средние содержания меди варьируют от 0,20% на участке Малыш до 0,32 и 0,33% в штокверках Находка и III Весенний. Максимальная концентрация 4,38% Си зафиксирована в борнитовых рудах участка III Весенний.

Медно-порфировые рудоносные образования участка характеризуются невысоким средним содержанием молибдена — 58 г/т; максимальная концентрация в 0,30% Мо зафиксирована в штокверке III Весенний. Только в 8% проб содержания молибдена превышают

100 г/т. Богатые борнитовые руды не отличаются от рядовых халькопиритовых повышенными содержаниями молибдена и даже наоборот: в среднем концентрации Мо в них ниже. На отдельных интервалах (особенно на участке Прямой и Малыш) отмечаются повышенные содержания молибдена > 300 г/т при слабо-аномальных и фоновых концентрациях меди. Среднее отношение Cu : Мо в контуре штокверков составляет 50 : 1.

Содержания золота в пробах находятся в диапазоне от 0,005 до 71 г/т в эпитермальных золото-серебряных рудах месторождения Весеннее. В целом по Находкинской ПЭС в 47% проб зафиксированы содержания золота более 0,1 г/т, но только в 3% проб — более 1 г/т. В медно-порфировых штокверках среднее содержание золота составляет 0,27 г/т и возрастает в богатых борнит-халькопиритовых рудах до 0,40 г/т. На месторождении Весеннее 70% интервалов характеризуются концентрациями \geq 0,1 г/т Au, 18% — \geq 0,5 г/т Au, 7% — \geq 1 г/т Au.

Содержания серебра в рудоносных образованиях изменяются в широком диапазоне от менее 0,5 г/т до 171 г/т (в четырех пробах с участка Весенний выше верхнего предела определения > 200 г/т Ag). В рядовых медных рудах средняя концентрация серебра составляет 1,1 г/т, в богатых борнит-халькопиритовых — 1,7 г/т. Максимальные содержания серебра связаны с золото-серебряной полисульфидной минерализацией, которая имеет незначительное распространение (интервалы с Ag \geq 30 г/т составляют менее 0,5% выборки).

Изучение распределения рудных элементов в объеме ПЭС показало постоянное присутствие в рудах селена и теллура. Значимые содержания селена обнаружены в 4,7%, теллура — в 1,7% керновых проб. Более высокими содержаниями селена характеризуются руды медного штокверка, тогда как реже встречающийся теллур более тесно связан с благороднометальной минерализацией. Тесная корреляционная связь селена с медью и золотом (r = 0,30 и 0,28 соответственно, при критическом 0,07) и результаты минералогических исследований свидетельствуют о его примесной форме нахождения в борните. Установленный уровень концентрации селена позволяет рассматривать его в качестве сопутствующего компонента, пригодного для извлечения из медных концентратов объектов Баимской зоны.

Значимые содержания висмута определены в 2,6% проб. Его концентрации изменяются в диапазоне от менее 5 г/т до 58 г/т. Более половины проб с высоким содержанием висмута, превышающим 10 г/т, установлены в богатых борнит-халькопиритовых рудах с содержаниями меди выше 0,5%. Из литературных данных (Cook et al., 2011) известно, что борнит способен вмещать сотни и тысячи г/т Bi, а также упомянутых выше Ag и Se.

Мышьяк широко распространен в рудоносных образованиях, его аномальные содержания (≥ 60 г/т) определены в трети интервалов. Диапазон концентраций мышьяка — от 5 до 8365 г/т. В границах медно-порфировых штокверков среднее содержание As составляет

127 г/т, на участках развития блекловорудной минерализации, выделенных по минералогическому полевому описанию керна, — 325 г/т.

Значащие содержания сурьмы ≥ 5 г/т определены в 24% проб. Наиболее распространенными являются концентрации порядка *n* г/т и первых *n*·10 г/т. Средние содержания сурьмы в рядовых (10 г/т) и богатых медно-порфировых рудах (15 г/т) практически не различаются. Наличие в их составе более высоких содержаний сурьмы связано исключительно с развитием блекловорудной минерализации. Содержания сурьмы в интервалах ее развития достигают сотен г/т, максимальное определенное — 0,13% Sb.

Содержания свинца в пробах низкие: в 80% интервалов наблюдаемые концентрации не превышают 100 г/т Pb. Среднее содержание свинца в рядовых халькопирит-молибденитовых рудах (148 г/т Pb) выше, чем в богатых борнитовых (13 г/т Pb), что связано с тем, что полиметаллическая минерализация развита либо в периферической части штокверка, либо за его границами. На долю полиметаллической минерализации с содержаниями Pb ≥ 0,1% приходится 3,3% проб, большинство которых предоставляет керн с месторождения Весеннее.

Схожее со свинцом распределение имеет цинк. Его среднее содержание в рядовых медно-порфировых рудах составляет 308 г/т, а в богатых борнитовых — 62 г/т. На периферии медного штокверка около 18% проб характеризуются содержаниями более 200 г/т Zn, а 5,7% — содержаниями более 1000 г/т. Максимальное содержание цинка — более 1% (выше верхнего предела определения).

Концентрации кадмия выше предела обнаружения (1 г/т) определены в 20% проб. Наиболее распространенным являются его содержания до 10 г/т. В 3,3% интервалов отмечается $Cd \ge 10$ г/т, где демонстрирует свою приуроченность к цинку: на этих участках среднее содержание Zn составляет 0,47%.

Марганец присутствует в аномальных концентрациях на трети интервалов. Повышенный уровень содержаний наблюдается в пробах с наиболее высокими содержаниями свинца и цинка и в пробах с высоким содержанием пирита.

Пространственное распределение элементов и связи между ними удалось наиболее эффективно охарактеризовать в терминах геохимических ассоциаций, выявленных средствами факторного и корреляционного анализов.

Геохимические данные по скважинам были обработаны в программе STATISTICA методом факторного анализа главных компонент (Боровиков, 2013). В результате обработки получено шесть факторов с суммарным вкладом, равным 77% от общей изменчивости аномального геохимического поля; они отражают корреляционные связи между четырнадцатью рудными элементами (табл. 22).

	1	1	1 2	1	,	1
			Фак	горы		
Элементы	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Ag	0,66*	0,15	0,49	0,08	0,09	0,09
As	0,08	0,84	0,02	0,17	0,15	0,14
Au	0,26	0,03	0,72	0,21	0,04	0,10
Bi	0,07	0,04	0,07	0,08	0,86	-0,10
Cd	0,88	0,03	0,12	-0,04	0,05	0,00
Cu	-0,07	0,23	0,11	0,00	0,66	0,40
Fe	0,03	0,04	0,06	0,93	0,07	-0,09
Mn	0,72	-0,01	-0,04	0,37	-0,14	-0,07
Мо	0,03	0,03	0,01	-0,09	0,01	0,93
Pb	0,91	0,06	0,11	-0,04	0,02	0,02
Sb	0,06	0,89	0,12	-0,08	0,02	-0,05
Se	0,00	0,20	0,65	0,00	0,34	-0,03
Те	0,11	0,05	0,90	-0,03	0,01	-0,02
Zn	0,94	0,03	0,05	0,03	0,01	0,02
*						

Результаты факторного анализа методом главных компонент исходных геохимических данных по скважинам: факторные нагрузки после вращения варимакс

* Полужирным шрифтом — значимые значения факторной нагрузки.

Элементы, согласно их весу, группируются в факторы, или геохимические ассоциации, которые можно сопоставить с минеральными парагенезисами основных стадий рудоотложения. Соотнесение геохимических ассоциаций со стадиями рудообразования подтверждается значениями коэффициента корреляции между значениями факторов и содержаниями главных рудных минералов по соответствующим интервалам керна скважин (табл. 23, 24).

Таблица 23

Минарали	Факторы								
минералы	F1	F2	F3	F4	F5	F6			
Пирит	0,06	0,02	0,16*	0,24	0,12	-0,01			
Халькопирит	-0,05	0,06	0,06	0,01	0,27	0,21			
Борнит	-0,12	-0,03	0,18	0,09	0,28	0,10			
Блеклые руды	0,07	0,18	-0,06	0,08	0,12	0,05			
Молибденит	0,09	-0,02	-0,01	-0,03	0,05	0,18			
Сфалерит	0,51	-0,03	0,14	-0,09	0,11	0,05			
Галенит	0,37	0,01	0,01	-0,04	0,07	0,01			

Корреляция между содержаниями сульфидов и значениями факторов по интервалам опробования керна скважин

* Полужирным шрифтом — значимые значения коэффициента корреляции.

	-	-				
Геохимическая ассоциация	Минералы	Порфи вый эт	іро- гап	Эпите ный	рмаль- этап	Тип минерализации
F4 Fe(MnAu)	пирит					Аи-порфировая пиритовая
F6 Mo(Cu)	халькопирит, молибденит					Си-Мо-порфировая
F5 BiCu(Se)	борнит, халькопирит					Борнитовая
F2 SbAs(CuSe)	блеклые руды					Блекловорудная
F1 ZnPbCdMnAg(Au)	сфалерит, галенит					Субэпитермальная и эпитермальная полиметаллическая
F3 TeAuSe(Ag)	(борнит, пирит, сфалерит)					Эпитермальная Au-теллуридная

Геохимические ассоциации, выделенные по результатам факторного анализа, и связанные с ними минералы в соответствии с предполагаемыми стадиями оруденения

Значения фактора F4 коррелируют с количеством пирита, что дает основание связать геохимическую ассоциацию Fe(MnAu) с наиболее ранней золото-пиритовой минерализацией порфирового этапа формирования рудоносной структуры. Значения фактора F6, отвечающие ассоциации Мо(Cu), статистически связаны с содержаниями халькопирита и молибденита, образующих основной минеральный парагенезис Си-Мо-порфирового оруденения. Значения фактора F5 коррелируют с содержаниями борнита и халькопирита, что позволяет соотнести геохимическую ассоциацию CuBi(Se) c наиболее богатыми борнитовыми рудами позднепорфировой стадии рудоотложения. Однозначно интерпретируется выделенная по значениям F2 геохимическая ассоциация SbAs(CuSe), имеющая корреляцию с блекловорудной минерализацией, формирующейся как на порфировом, так и на эпитермальном этапах развития ПЭС.

Минерализация переходного субэпитермального и эпитермального этапов формирования ПЭС характеризуется ассоциациями ZnPbCdMnAg(Au) и TeAuSe(Ag), выделенными по значениям факторов F1 и F3.

Первая ассоциация по составу и устойчивой корреляции значений факторов с содержаниями сфалерита и галенита соответствует субэпитермальной и эпитермальной серебро-полиметаллической минерализации. По геохимическим данным разделить субэпитермальное и эпитермальное полисульфидное оруденение невозможно, однако есть минералогические признаки в составе сопряженных метасоматитов (Марущенко, 2015). На субэпитермальной стадии развиваются турмалин-кварц-карбонат-мусковит±фенгитовые метасоматиты, в то время как для эпитермальной характерны карбонат-кварц-иллитовые

аргиллизиты. Типоморфными субэпитермальной ассоциации становятся турмалин и фенгит, для эпитермальной — иллит, карбонаты с повышенным содержанием марганца, высокомышьяковистый пирит.

Вторая ассоциация интерпретируется как соответствующая золото-серебряному оруденению типа IS. Положительная корреляция между значениями фактора F3 и содержаниями пирита, сфалерита и борнита при отсутствии в документации сведений о редких минералах золота и серебра в связи с невозможностью их полевой визуальной диагностики, косвенно свидетельствует о пространственном наложении золото-серебряной минерализации на рудоносные образования порфировой и субэпитермальной стадий рудоотложения. Однако состав ассоциации согласуется с результатами электронно-зондовых исследований, на основании которых выделен тесный парагенезис низкопробного самородного золота с гесситом и петцитом и диагностированы фазы системы Ag-Te-Se (штютцит, курилит; Нагорная, 2013).

Значения факторов, средневзвешенные на длину скважин, использованы для построения схемы зональности Находкинского рудного поля в плане.

По распределению геохимических ассоциаций в строении Находкинского рудного поля наблюдается концентрическая зональность (рис. 29а):

Геохимическая структура рудного поля имеет форму подковы, внутренняя часть которой считается фоновой. В аномальном поле, обрамляющем безрудное пространство, внутренняя зона сформирована ассоциациями рудных элементов, которые относятся к продуктивным стадиям Си-Мо-порфирового этапа развития ПЭС, а внешняя — геохимической ассоциацией, соответствующей Аu-пиритовой минерализации.

Ассоциации, отвечающие рудоотложению переходного и эпитермального этапов развития, в большей степени тяготеют к внешней зоне, хотя часто наложены на внутреннюю, особенно в южной части рудного поля.

Зональные взаимоотношения между ассоциациями главных типов рудной минерализации, указывающие на приуроченность эпитермальной минерализации к внешней пиритовой оболочке, проявляются при построении изолиний мультипликативного показателя AuAgTe/CuMoBiSe 1000, в числитель которого вошли элементы эпитермального этапа, а в знаменатель — порфирового (рис. 296).

Высокие значения этого показателя, связанные с развитием благороднометальной эпитермальной минерализации, характерны для южной части рудного поля (месторождение Весеннее, юг участка Прямой) и затухают к северу, где доминирует порфировое оруденение (богатый медный штокверк участка III Весенний).

В западной части подковообразной структуры выделяется наиболее обширная область высоких значений мультипликативного показателя, что связано с преобладающим развитием



121

Рисунок 29. Геохимическая зональность Находкинской ПЭС в плане (а – по геохимическим ассоциациям, б – по мультипликату)

полиметаллической и эпитермальной золото-серебряной минерализации месторождения Весеннее. Медно-порфировое оруденение, локализованное глубже благороднометального эпитермального, в этой части рудного поля было обнаружено по результатам бурения 2011 г.

На фоне общей концентрической зональности в строении геохимического поля, в целом соответствующей классическим схемам рудно-метасоматической зональности ПЭС (Lowell and Guilbert, 1970, рис. 2), следует отметить некоторые особенности, вытекающие из изучения конкретного объекта. К их числу прежде всего относятся выявленные отличия в строении западной и восточной частей аномального поля. Как отмечалось выше, в составе первой

преобладают ассоциации эпитермального этапа развития ПЭС и высокие значения мультипликативного показателя зональности, во второй — ассоциации Cu-Mo-порфирового этапа и низкие значения мультипликативного показателя зональности. Причиной этого может служить не только наблюдаемая латеральная зональность аномального поля, но и разный уровень эрозионного среза, связанный с вертикальными пострудными движениями отдельных блоков.

Для изучения вертикальной геохимической зональности рассматривалось распределение главных и сопутствующих элементов и сульфидов в коренных породах по разрезам.

Штокверк участка Находка вскрыт скважинами по пяти буровым профилям (нумерация разведочных линий на рис. 29, рис. 30), охватывающим объем пространства по простиранию в 1 км и по падению на глубину до 600 м.

Первичные ореолы главного элемента — меди — оконтурены по минимальноаномальному содержанию 250 г/т и занимают практически весь объем горных пород, вскрытый скважинами. Только в центральной части профиля RL-34 пустой скважиной пересечены K_1o , гранодиориты омчакского комплекса В которых, согласно документации «Сибгеоконсалтинг», отсутствует кварц-сульфидное прожилкование. Вероятно, внедрившийся шток разорвал уже сформированное рудное тело. Изолиния 1000 г/т Си охватывает визуально документируемую медную минерализацию и принята за границу штокверка. Морфология рудного тела в контуре этой изоконцентраты простая: штокверк Находка может быть отнесен к пластовому типу с большой мощностью и крутым падением контактов, характерным для тел, контролируемых зонами разломов. Отчетливый тектонический характер имеет западная граница рудного штокверка, что подчеркивается частотой изолиний содержаний меди, то есть быстрым убыванием ее содержаний на небольшом интервале со стороны лежачего бока в районе буровых линий RL-32 и RL-34. Со стороны висячего бока (восточная граница штокверка) затухание медной минерализации постепенное.

В контуре рудного штокверка распределение меди неравномерное. На разрезе RL-33 в приповерхностной части можно наблюдать обсуждаемое в разделе 5.2 снижение концентраций меди, связанное с окислением сульфидных руд и выщелачиванием элементов; на разрезе RL-32, напротив, обогащение руд, обусловленное формированием зоны ВСО. В центральной части между профилями RL-32 и RL-34 картируются обогащенные крутопадающие кулисообразные зоны с содержаниями меди более 0,5%, местами не оконтуренные на глубину. По документации керна эти зоны представлены борнит-халькопиритовыми рудами прожилково-вкрапленного типа и интенсивно минерализованными брекчиями. По характеру распределения меди и геологической документации в строении отдельного штокверка отсутствует классическое кварцевое ядро.



Рисунок 30. Блок-диаграмма распределения меди на участке Находка

123

Северный фланг, вскрытый скважинами на профиле RL-31, фактически не имеет обогащенной части и борнита в рудах и может рассматриваться как выклинка рудного штокверка по простиранию. На южном фланге по профилю RL-35 мощность рудного штокверка по изоконцентрате меди 1000 г/т составляет около 800 м и предпосылки к выклинке отсутствуют. Кроме того, несмотря на отсутствие обогащенной части, наблюдается рост содержаний меди с глубиной и высоки перспективы по приросту запасов оруденения, учитывая, что скважины в этой части пробурены на глубину всего 200-250 м от поверхности. Возможным продолжением оруденения к югу от RL-35 является штокверк Прямой, взаимоотношение с которым остается до конца не выясненным из-за вероятного смещения рудоносных структур разломом, по которому заложен ручей Находка.

Главные элементы-спутники — молибден и золото — распределены согласно меди. Наибольшее сходство обнаруживает молибден, строение ореолов которого в контуре 10 г/т повторяет морфологию медного штокверка. Золото в изоконцентрате 0,01 г/т распределено аналогично меди, а в изоконцентрате 0,1 г/т приурочено к обогащенным центральным частям штокверка и к его восточному контакту.

Распределение сопутствующих элементов рассматривалось как на моноэлементных геохимических разрезах, так и на схемах распределения факторов. На рис. 31 показано развитие ассоциаций по наиболее богатому медью профилю RL-33.



Рисунок 31. Распределение факторов по разрезу RL-33 участка Находка

Данный разрез демонстрирует следующие закономерности в распределении рудных элементов порфирово-эпитермальных систем. Мышьяк и сурьма — элементы блекловорудной ассоциации — имеют пики концентраций в области богатых медных руд: видимо, совмещение халькопиритовой, борнитовой и теннантит-тетраэдритовой минерализации и определяет повышенные концентрации меди в ядрах медно-порфировых штокверков. Геохимическими и минералогическими исследованиями установлено, что теннантит резко преобладает над тетраэдритом, что выражается в высоких средних концентрациях мышьяка, резко снижающего

качество медных руд. Первичные ореолы цинка, свинца, кадмия, а также серебра и марганца приурочены к периферии штокверков, причем развиваются не только за пределами штокверка, но могут и накладываться на него и встречены на различных гипсометрических уровнях. Теллур в ассоциации с золотом представляет зоны развития эпитермального оруденения, тяготеющего к внешней зоне медных штокверков и пиритовой оторочке, характеризующейся повышенными концентрациями железа и марганца. Эпитермальный этап в этой части ПЭС проявился умеренно, и хотя выявляется на большинстве геохимических разрезов, в масштабах рудного поля не имеет сколь-либо существенного значения.

Для определения ряда вертикальной геохимической зональности были рассчитаны средневзвешенные содержания главных рудных элементов на пласты мощностью 50 м. Поуровневые содержания послужили входными данными для программы «HЮ-2» (Справочник..., 1990). Расчет проводился в двух вариантах: 1) на мощность штокверка в контуре Cu ≥ 1000 г/т для определения зональности собственно медно-порфирового оруденения; 2) на всю ширину разрезов с включением пиритовых внешних зон для характеристики зональности порфирово-эпитермальной системы. Индивидуальные ряды вертикальной геохимической зональности для каждого бурового профиля, коэффициенты ранговой корреляции между ними и общий ряд зональности приведены в таблице 25.

Полученные в результате расчетов обобщенные ряды зональности принципиально отличаются положением в них элементов полиметаллической ассоциации (Ag, Pb, Zn, Mn), которая для ПЭС характеризуется накоплением на верхнерудных уровнях, а для штокверка — присутствием (телескопированием) на различных гипсометрических уровнях. Ряд зональности, рассчитанный в контуре штокверка, отражает другую наблюдаемую закономерность: концентрирование на верхнерудном уровне элементов блекловорудной минерализации (As, Sb), наложенной на медные руды. Положение молибдена относительно меди в индивидуальных рядах непостоянно, но в общем ряду он занимает классическое положение глубже меди.

На левобережье р. Баимки в западной части Находкинской ПЭС локализовано золотосеребряное месторождение Весеннее, относящееся к эпитермальному IS типу. Кварц-карбонатполисульфидные жилы и прожилки образуют здесь мощные жильные зоны и штокверки. Сначала сколковым опробованием плотика полигона отработанной россыпи, а затем и бурением здесь было установлено наличие медно-порфирового штокверка на глубоких горизонтах. Эпитермальное оруденение занимает секущую позицию по отношению к меднопорфировому. Таким образом, оруденение участка Весенний представляет верхнюю, наиболее сохранившуюся часть порфирово-эпитермальной системы.

Распределение золота и меди в их первичных ореолах продемонстрировано на трех разрезах на рис. 32. Практически все пространство, вскрытое скважинами, занимает область

Ряды вертикальной геохимической зональности оруденения участка Находка

Вертикальная геохимическая зональность медно-порфирового

штокверка (снизу вверх)

RL-31: Au-Ag-Mo-Mn-As-Fe-**Cu**-Se-Te-Bi-Cd-Zn-Sb-Pb RL-32: Te-Mo-Cd-Mn-Fe-Bi-Se-Au-Zn-**Cu**-Pb-Sb-Ag-As RL-33-1: Mo-Cd-Zn-Pb-Mn-Te-**Cu**-Bi-Se-Fe-Au-Sb-Ag-As RL-33-2: **Cu**-Mo-Au-As-Te-Bi-Cd-Mn-Fe-Ag-Se-Zn-Sb-Pb RL-34: Zn-Mn-Cd-**Cu**-Pb-Ag-Se-Au-Bi-As-Fe-Te-Mo-Sb RL-35: Mn-Zn-Sb-Bi-Cd-**Cu**-Te-Mo-Se-Ag-As-Pb-Au-Fe

Коэффициенты ранговой корреляции между рядами:

	RL-31	RL-32	RL-33-1	RL-33-2	RL-34	RL-35
RL-31	1,00	0,06	-0,32	0,59	-0,11	-0,37
RL-32	0,06	1,00	0,64	0,31	-0,09	0,20
RL-33-1	-0,32	0,64	1,00	0,04	0,37	0,39
RL-33-2	0,59	0,31	0,04	1,00	-0,19	-0,11
RL-34	-0,11	-0,09	0,37	-0,19	1,00	0,32
RL-35	-0,37	0,20	0,39	-0,11	0,32	1,00

Общий ряд зональности:

Mn-Mo-Cd-Cu-Zn-Te-Bi-Au-Se-Ag-Fe-As-Pb-Sb

Вертикальная геохимическая зональность порфирово-

эпитермального оруденения (снизу вверх)

RL-31: Au-Mn-As-Ag-Mo-Fe-**Cu**-Se-Te-Bi-Cd-Zn-Sb-Pb RL-32: Mo-**Cu**-Cd-Fe-Te-Au-Se-Bi-Pb-Sb-Zn-Mn-As-Ag RL-33-1: Mo-**Cu**-Mn-Zn-Cd-Fe-Pb-Sb-Te-Bi-Se-Au-As-Ag RL-33-2: Mo-Se-Te-Cd-Bi-**Cu**-Fe-Sb-As-Ag-Pb-Mn-Zn-Au RL-34: **Cu**-Au-Pb-As-Cd-Ag-Mo-Zn-Se-Bi-Sb-Te-Fe-Mn RL-35: Mo-**Cu**-As-Sb-Bi-Te-Se-Fe-Ag-Au-Cd-Mn-Zn-Pb

Коэффициенты ранговой корреляции между рядами:

	RL-31	RL-32	RL-33-1	RL-33-2	RL-34	RL-35
RL-31	1,00	-0,08	-0,20	-0,19	0,06	0,19
RL-32	-0,08	1,00	0,52	0,62	0,14	0,35
RL-33-1	-0,20	0,52	1,00	0,18	-0,11	0,02
RL-33-2	-0,19	0,62	0,18	1,00	-0,19	0,61
RL-34	0,06	0,14	-0,11	-0,19	1,00	0,04
RL-35	0,19	0,35	0,02	0,61	0,04	1,00

Общий ряд зональности:

Mo-Cu-Cd-Fe-Se-Te-As-Au-Bi-Sb-Mn-Ag-Pb-Zn



Рисунок 32. Первичные ореолы золота и меди на разрезах месторождения Весеннее содержаний золота Au $\geq 0,1$ г/т, в которой наблюдаются частые крутопадающие зоны повышенных концентраций (максимальное — 71 г/т). С золотом значимо коррелируют элементы: Ag (коэффициент корреляции r = 0,99), Te (0,64), Se (0,51) и полиметаллы Cd, Pb, Zn (~0,30), отражая минеральную ассоциацию оруденения. Среднее отношение Au:Ag составляет 1:10. Первичные ореолы меди на разведочных профилях RL-12 и RL-11, пройденных с западного фланга Находкинской ПЭС и представляющих верхние по абсолютным высотам горизонты, по морфологии повторяют золотые зоны и отражают распространение халькопирита и блеклых руд, по-видимому, эпитермального этапа. Скважинами бурового профиля RL-10 вскрыта мощная медная аномалия с ядерными частями, отличающимися по ориентировке от золотых. Данная геохимическая структура соответствует медно-порфировому оруденению.

Ряды вертикальной геохимической зональности (снизу вверх), рассчитанные по профилям RL-12 и RL-11, таким образом, отражают распределение элементов эпитермального оруденения; по профилю RL-10 — области наложения эпитермальных и медно-порфировых руд:

RL-12: Pb-Zn-Mo-Ag-Bi-Cu-Se-Cd-Te-Mn-Fe-Sb-Au-As

127

RL-11: Mo-Cd-Cu-Zn-Pb-Sb-Bi-Te-Ag-Se-As-Fe-Mn-Au RL-10: Mo-**Cu**-Fe-Ag-Bi-Pb-Se-Te-Au-Sb-Zn-Cd-As-Mn

5.4. Критерии оценки уровня эрозионного среза

По распределению концентраций элементов, сульфидов и собственных значений факторов и выявленным в программе «НЮ-2» рядам вертикальной геохимической зональности установлено два показателя зональности третьего порядка, условно монотонно убывающих с глубиной: *v*₁=AgPbZn/CuBiMo и *v*₂=AgAsSb/CuBiMo.

Показатель AgPbZn/CuBiMo применим для оценки уровня эрозионного среза порфирово-эпитермальной системы в целом. Геохимическая ассоциация, представленная в числителе дроби, соотносится с составом субэпитермальных и золото-серебряных эпитермальных руд, развитых на флангах и/или, как на месторождении Весеннее, гипсометрически выше медно-порфирового штокверка, ключевые рудные элементы которого представлены в знаменателе.

Для прогноза среза собственно медно-порфирового штокверка предлагается использовать показатель AgAsSb/CuBiMo, в числителе которого фигурируют элементы блекловорудной ассоциации, пространственно приуроченной к верхним частям Cu-Mo-порфировых штокверков.

На рис. 33 представлены графики изменения значений этих показателей по типовым разрезам через участки Находкинского рудного поля, соотнесенные с обобщенной формализованной моделью рудной минерализации объектов Баимской меднорудной зоны.

Значения показателя AgPbZn/CuBiMo изменяются в пределах 8 порядков. Минимальные значения установлены для участка III Весенний (от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^{-2}$), где полиметаллическая и Au-Ag-минерализация наименее развиты. Диапазон средних значений ($n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{1}$) отмечен на объектах Находка и Прямой, где геохимические ассоциации поздних стадий приурочены к фланговым зонам. Максимальные значения показателя ($n \cdot 10^{1} - n \cdot 10^{4}$) получены для золото-серебряного месторождения Весеннее.

Значения показателя AgAsSb/CuBiMo варьируют от $n \cdot 10^{-5}$ до $n \cdot 10^{1}$, и порядок участков при ранжировании остается тем же: минимальные значения $(n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4})$ характерны для рудного тела III Весенний, где слабее всего проявлена As-Sb-минерализация; далее следует штокверк участка Находка $(n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-1})$, где блеклые руды пространственно тяготеют к борнитовым ядрам. Специфичность участка Прямой $(n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-1})$ и особенно месторождения Весеннее $(n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{1})$ заключается в том, что здесь минералы ряда теннантит–тетраэдрит присутствуют не только в контуре Cu-Mo-порфирового штокверка, но и широко представлены в субэпитермальных и эпитермальных жильно-прожилковых зонах.





В метрике медно-порфирового оруденения уровень эрозионного среза объектов можно оценить следующим образом (рис. 34).



Рисунок 34. Уровень эрозионного среза медно-порфировых штокверков Находкинского рудного поля

Месторождение Весеннее характеризуется верхнерудным уровнем среза, эпитермальная минерализация сохранилась здесь наиболее полно и на глубине прогнозируется существенный объем медно-порфировых руд. Верхне–среднерудный срез представлен на участке Прямой.

129

Далее в этом ряду следует штокверк участка Находка, эпитермальное и субэпитермальное оруденение которого было существенно сэродировано, и в настоящее время на участках фиксируются лишь реликты этих стадий. Наименее сохранилась порфирово-эпитермальная система в районе проявления III Весенний, эрозионный срез которого соответствует нижнерудному — здесь не только практически не сохранились признаки эпитермальной и переходной минерализации, но и медно-порфировые руды, судя по сужению рудных столбов на глубоких уровнях бурения, будут резко выклиниваться с глубиной.

Предложенный показатель v_1 =AgPbZn/CuBiMo отвечает функциям классического отношения PbZn/CuMo, который C.B. Григорян называл важнейшим индикатором при оценке уровня эрозионного среза медно-порфировых рудно-магматических систем (цитата по Кудрявцев и др., 2012). Добавление в числитель Ag и в знаменатель Bi повышает контрастность показателя зональности и отражает особенность медно-порфировых руд Находкинской ПЭС, в борнитовых ядрах которых наблюдаются повышенные концентрации висмута (пока минералогическими исследованиями собственные фазы висмута здесь не обнаружены, предполагается накопление этого элемента в борните).

Показатель для оценки среза медно-порфировых штокверков v₂=AgAsSb/CuBiMo предлагается впервые и транслирует приуроченность теннантит-тетраэдритовой минерализации к верхним горизонтах медных руд.

Перенесение рассматриваемых показателей зональности на гипергенное поле может быть ограничено качеством аналитических данных. Прежде всего это касается содержаний висмута в рыхлых образованиях, которые не всегда могут быть установлены вследствие высокого предела обнаружения традиционно применяемыми методами анализа (ПКСА 1 г/т, ICP-MAES 5 г/т). При использовании показателей по результатам анализа первичных образований, например, по штуфным пробам минерализованных метасоматитов, обязательно отбираемых при заверке вторичных аномалий, или по бороздовым пробам разведочных канав, подобное ограничение не возникает.

5.5. Оценка уровня среза слабоизученных медно-порфировых объектов

Значения обсуждаемых в разделе 5.4 показателей зональности v₁=AgPbZn/CuBiMo и v₂=AgAsSb/CuBiMo применялись для определения уровня эрозии слабоизученных ПЭС и медных штокверков Баимской зоны.

Для этого использовались данные по первичным ореолам минерализации, а конкретно — средневзвешенные содержания элементов по интервалам опробования скважин в приповерхностном слое мощностью 50 м (за вычетом зоны окисления). Рассчитывалось среднее геометрическое значение показателей. Усреднение показателя *v*₁ производилось по скважинам,

пробуренным в контурах порфирово-эпитермальных систем. Значения показателя *v*₂ усреднялись по группам скважин, попадающим в контур ядерных частей АГХП меднопорфирового типа. Значения показателей приводятся в табл. 26 и 27, где отсортированы по возрастанию.

Таблица 26

ПЭС	v ₁ =AgPbZn/CuBiMo	Степень эродированности
Егдыгкычская	$1,18 \cdot 10^{-2}$	THE FOR A THE PARTY IS
Топь	$1,86 \cdot 10^{-2}$	плуоокоэродированные
Юряхская	$3,62 \cdot 10^{-2}$	
Кустовская	$4,33 \cdot 10^{-2}$	среднеэродированные
Песчанкинская	$5,85 \cdot 10^{-2}$	
Находкинская	$3.61 \cdot 10^{-1}$	слаооэродированные

Значения показателя зональности порфирово-эпитермальных систем Баимской зоны, определенные по составу первичных ореолов в приповерхностном интервале

Порфирово-эпитермальная система Находкинского рудного поля, будучи единственной в пределах Баимской зоны с сохранившейся (развившейся) минерализацией эпитермального этапа в виде золото-серебро-полиметаллического оруденения месторождения Весеннее, демонстрирует максимальные значения показателя *v*₁ и относится к слабоэродированным. Остальные рассмотренные ПЭС Баимской зоны ранжируются согласно соотношению субэпитермального серебро-полиметаллического и медно-молибден-порфирового типов оруденения.

В штуфных пробах, отобранных в контуре Егдыгкычской ПЭС, обнаружена лишь убогая пирит-халькопиритовая минерализация, а содержания свинца и цинка в пробах не превышают первых сотен г/т. Из 17 пробуренных на участке скважин, лишь в четырех наблюдаются интервалы повышенных содержаний полиметаллов и серебра (Pb 558–2241 г/т, Zn 225–4038 г/т, максимальная концентрация Ag 35 г/т) суммарной протяженностью 10 м. Столь незначительное проявление полиметаллической минерализации отражает значение показателя *v*₁, по которому Егдыгкычская ПЭС относится к глубокоэродированной.

По первичным ореолам, вскрытым шестью поисковыми скважинами, ПЭС Топь также определяется как глубокоэродированная. В плотике полигона в поисковых маршрутах была закартирована зона кварц-сульфидного и кварц-карбонатного прожилковая с богатой медной и убогой серебро-полиметаллической минерализацией. В двух штуфных пробах электроннозондовым анализом были диагностированы вростки гессита и акантита в пирите и халькопирите и тонкие выделения (до 10 мкм) акантита на границе зерен сфалерита и галенита (Читалин и др., 2014ф). Однако, заданные скважины не пересекли сколь-либо значимых участков субэпитермальной и эпитермальной минерализации, за исключением единичного двухметрового интервала с содержаниями Ag 11 г/т, Au 1,1 г/т, Cu 0,1%, Zn 759 г/т. Юряхская ПЭС, включающая участок Лучик, по значению показателя v_1 классифицируется как среднеэродированная. Карбонатные жильно-прожилковые зоны с полисульфидной (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит) минерализацией отмечены в связи с маломощной штокверковой зоной бедных пирит-халькопиритовых руд. Заверочным бурением вскрыты интервалы с повышенной концентрацией свинца (до 0,2%) и цинка (до 0,3%) суммарной длиной 50 м и все они относятся к скважинам, попадающим в контур переходной зоны АГХП 1-2 и заключенным в нее ядрам.

Средним уровнем эрозии характеризуется Кустовская ПЭС. Маломощные интервалы повышенных содержаний типоморфных элементов субэпитермальной минерализации отмечаются в скважинах на площади всего участка бурения.

Определение уровня эрозионного среза Песчанкинской ПЭС заслуживает детального рассмотрения, но в рамках данной работы эта задача не решалась. По значениям показателя зональности v_1 порфирово-эпитермальная система является слабоэродированной. Это подкрепляется широким развитием субэпитермальной минерализации во всем объеме Главного штокверка и на западном и восточном флангах Центрального штокверка месторождения Песчанка. В составе оруденения Главного штокверка по геохимическим данным выделяется ассоциация BiTe(Se), которая трактуется, согласно единичным находкам тетрадимита при тонких минералогических исследованиях, как эпитермальная (Николаев и др., 2016б). В то же время отсутствие в долине р. Песчанка золотой россыпи является аргументом в пользу того, что при формировании Песчанкинской ПЭС эпитермальная стадия не проявилась в ощутимом масштабе. Забегая вперед, скажу, что по этой же причине степень эрозии медно-порфировых штокверков вряд ли стоит считать сильной (золото-медно-порфировые штокверки обычно являются субстратом для формирования богатых россыпей высокопробного золота).

Для оценки уровня эрозионного среза медно-порфировых штокверков рассчитаны значения показателя зональности v_2 =AgAsSb/CuBiMo (табл. 27). По значениям показателя зональности, равным $n \cdot 10^{-5}$, определяется подрудный срез прогнозируемых штокверков. Нижнерудному уровню среза отвечают значения порядка $n \cdot 10^{-4}$, среднерудному — $1-3 \cdot 10^{-3}$, верхнерудному — от $3 \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^{-2}$. Надрудному срезу соответствуют значения порядка $n \cdot 10^{-1}$. Отмечу, что к участкам, где выявлены медно-порфировые штокверки с прогнозируемым нижнерудным уровнем среза, приурочены россыпи высокопробного золота: россыпь по руслу руч. Лучик содержит золото пробности 886–896, руч. Лосиный — 882, р. Егдыгкыч — 894–902 (Вяткин и др., 2004ф). Вероятно, рудные штокверки стали источником золота для россыпей. Пробность золота россыпей в истоках р. Баимки заметно ниже — 678–735, поэтому для них основным источником металла предполагается эпитермальное золото-серебряное оруденение IS типа месторождения Весеннее.

		-	
Штокверк	v ₂ =AgAsSb/CuBiMo	Уровень среза	
Егдыгкыч Север (ядро 4-1-1)	8,64 · 10 ⁻⁵	подрудный	
Егдыгкыч Центр (совокупность ядер 4-2-1, 4-3-1, 4-3-2, 4-3-3)	$5,81 \cdot 10^{-4}$	нижнерудный	
Лучик Юг (ядро 2-1-1)	$8,57 \cdot 10^{-4}$		
Куст Центр (совокупность ядер 5-4-1, 5-4-2, 5-4-3, 5-5-1, 5-6-1, 5-6-2, 5-6-3)	$1,04 \cdot 10^{-3}$		
Куст Север (ядро 5-2-1)	$1,23 \cdot 10^{-3}$		
Песчанка Северный (ядра 9-4-1, 9-4-2, 9-4-3)	1,28 · 10 ⁻³		
Песчанка Центральный (ядра 9-5-1, 9-5-2)	$1,35 \cdot 10^{-3}$	среднерудныи	
III Весенний	$1,53 \cdot 10^{-3}$		
Егдыгкыч Юг (ядро 4-4-1)	$1,88 \cdot 10^{-3}$		
Песчанка Главный (ядро 9-5-3)	$2,50 \cdot 10^{-3}$		
Находка	$4,14 \cdot 10^{-3}$		
Лучик Север (совокупность ядер 1-1-1, 1-2-1, 1-2-2, 1-2-3, 1-2-4, 1-2-5, 1-2-6)	$5,26 \cdot 10^{-3}$	верхнерудный	
Прямой	$6,77 \cdot 10^{-3}$		
Малыш	$1,63 \cdot 10^{-2}$		
Весенний	$1,61 \cdot 10^{-1}$	надрудный	

Значения показателя зональности медно-молибден-порфировых штокверков Баимской зоны, определенные по составу первичных ореолов в приповерхностном интервале

ГЛАВА 6. ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСОВ АГХП БАИМСКОЙ ЗОНЫ

Оценка прогнозных ресурсов Q категории P_2 велась «полотном» в контуре ядерных частей АГХП в соответствии с Инструкцией..., 1983 с дополнением относительно коэффициента остаточной продуктивности k — вместе с ним вводился коэффициент пропорциональности k_0 , учитывающий перераспределение элементов в приповерхностной зоне окисления. Расчетная формула имела вид: $Q = \frac{1}{K} \cdot \frac{P}{40} \cdot H$, где $K = k \cdot k_0$ — коэффициент пропорциональности между содержаниями элемента во вторичном ореоле и в неизмененных гипогенных рудах; P — площадная продуктивность ядерной части АГХП, м²%; 1/40 переходный коэффициент от м³% к тоннам ресурсов (d/100%, где d — плотность горных пород, в среднем составляет 2,5 т/м³); H — предполагаемая глубина распространения оруденения, м.

Коэффициент пропорциональности *К* выбирался для каждого ядра АГХП индивидуально в зависимости от ландшафтных условий нахождения (раздел 5.2).

Поскольку в подсчет ресурсов включались также ядерные зоны, выделенные по результатам сколкового опробования полигонов (то есть фактически выходящих на поверхность коренных пород), в таких случаях в коэффициент K входил только множитель k_0 .

Глубина подсчета прогнозных ресурсов медно-молибденового с золотом оруденения выбиралась, исходя из установленной по скважинам протяженности рудных интервалов. Для медно-порфировых штокверков участков III Весенний, Малыш, Весенний, Прямой принято H = 300 м, Находка — H = 500 м. Ресурсы металлов по Главному, Центральному, Северному штокверкам месторождения Песчанка рассчитывались на глубину 500 м. Для прочих потенциальных рудных тел глубина распространения минерализации принята равной 200 м. Ресурсы золота месторождения Весеннее оценивались на глубину 400 м, для остальных ядерных зон золото-серебряного типа — 200 м.

Результаты оценки ресурсов металлов медно-порфировых руд приведены в табл. 28.

Прогнозными ресурсами более 1 млн т меди обладают порфирово-эпитермальные системы Юряхская (1,8 млн т Си), Песчанкинская (7,6), Таллахская (1,4) и Находкинская (5,6).

Отдельные штокверки с ресурсами выше 1 млн т меди представлены в Песчанкинской и Находкинской ПЭС: Главный (9,5) и Центральный (3,0) штокверки месторождения Песчанка и штокверки Находка (2,6) и Ш Весенний (2,5) Находкинского рудного поля. Только по Главному штокверку, крупному по ресурсам Си, прогнозируемые содержания меди в рудах оказываются на уровне бортовых — 0,6%. Руды остальных штокверков по содержаниям меди попадают в категорию забалансовых, по масштабу ресурсов составляют средние месторождения. Попутно из перечисленных штокверков может быть извлечено 236 тыс. т молибдена и 502 т золота.

Таблица 28

Ресурсы и прогнозируемые содержания в рудах меди, молибдена и золота по ядрам АГХП медно-порфирового типа (с севера на юг)

	_		Cu			Мо				Au				
ПЭС	$S, \kappa m^2$	h, м	С,	Р,	C _p ,	Q,	C,	Р,	C _p ,	Q,	C,	Р,	C _p ,	Q,
			г/т	м ² %	г/т	тыс. т	г/т	м ² %	г/т	Т	г/т	м ² %	г/т	Т
Юряхская	2,20	200	703	146595	1694	1770	2,5	363	3,8	2775	0,049	9,11	0,052	49,6
Егдыгкычская	1,34	200	749	93300	1461	877	4,9	266	9,1	2172	0,046	3,54	0,070	23,1
Кустовская	1,06	200	831	82262	1975	989	12,0	1248	23,0	11975	0,018	1,45	0,021	8,6
Песчанкинская, в том	2.08	2,98 200–500	1144	655876	2101	13451	17,4	12745	19,5	167327	0,059	26,02	0,078	394,9
числе штокверки:	2,98 200													
Северный	0,29	500	815	23976	1958	720	3,3	80	4,5	1375	0,050	1,52	0,052	19,8
Центральный	1,00	500	1338	154201	2083	3000	21,0	2035	22,9	27648	0,063	5,08	0,079	80,2
Главный	1,21	500	3824	448763	6468	9487	87,0	10219	92,6	135984	0,150	17,73	0,190	280,6
Таллахская	1,95	200	707	124206	1557	1358	3,1	550	6,5	4185	0,052	13,45	0,071	91,5
Находкинская, в том	4.48	48 200-500	819	370230	1800	7430	31,4	15851	41,4	258694	0,077	30,69	0,101	479,7
числе:	.,													
III Весенний	1,27	300	1099	136853	2684	2506	20,7	2372	46,0	39443	0,050	5,91	0,066	58,9
Малыш	0,63	300	503	27431	782	320	62,1	3489	67,5	28444	0,087	4,87	0,110	46,2
Малыш (полигон)	0,40	300	500	20000	781	234	200,0	8000	274,0	82200	0,200	8,00	0,263	78,9
Весенний (полигон)	0,09	300	1000	9000	1563	106	20,0	180	27,0	1823	0,900	8,10	1,184	79,9
Находка	0,76	500	1176	86829	2828	2609	27,8	1930	38,1	33043	0,087	6,29	0,091	82,1
Прямой	1,04	300	742	70759	1296	927	67,1	6461	70,1	50591	0,050	4,61	0,093	64,5
Светлинская	0,10	200	984	9434	2404	115	5,9	49	13,1	543	0,033	0,31	0,044	2,1
Итого						25990				447671				1049,4

S — площадь ядерных частей АГХП, h — глубина, на которую ведется оценка ресурсов металлов, С — среднее содержание элемента в контуре ядер, Р — площадная продуктивность ядер, С_р — прогнозируемое содержание элемента в рудах, Q — ресурсы

Примерное соотношение масс извлекаемых полезных компонентов Cu : Mo : Au составит 1 млн т : 10 тыс. т : 25 т.

Медно-порфировые руды Егдыгкычской и Кустовской ПЭС, представленные разрозненными мелкими (по ресурсам) телами, включают ресурсы немногим меньше 1 млн т — 877 и 989 тыс. т Сu, содержания меди в них 0,15 и 0,20% соответственно.

В гипергенном поле промышленным штокверкам с ресурсами более 1 млн т Си соответствуют литохимические аномалии меди с площадной продуктивностью от 80 000 м²% Си и содержаниями не менее 0,1% Си. Высокоперспективные объекты второй очереди образуют аномалии с площадной продуктивностью от 40 000 м²% Си и средним содержанием \geq 700 г/т Си.

Оценки ресурсного потенциала, проведенные по результатам опробования вторичных ореолов и по результатам кернового опробования (Читалин и др., 2014ф), сопоставлены в табл. 29.

Таблица 29

	Vocaronua	Истонник	Cu		
OOBERT	категория	ИСТОЧНИК	C _p , %	Q, млн т	
Песчанка	C_1+C_2	<u>Интолиц и пр. 2014</u> ф	0,70	5,5	
(Центральный и Главный	P ₁	читалин и др., 2014ф	0,67	1,1	
штокверки)	P ₂	данная работа	0,21 и 0,65	12,5	
	C_2	<u>Цитолиц и пр. 2014</u> ф	0,35	3,9	
Находка и Прямой	P_1+P_2	Читалин и др., 2014ф	0,37	1,6	
	P ₂	данная работа	0,28 и 0,13	3,5	
ШРазанний	C ₂	Читалин и др., 2014ф	0,40	0,8	
пі Бесенний	P ₂	данная работа	0,27	2,5	
Лучик (ядра 1-1-1, 1-2-2, 1-2-4, 1-2-	P ₂	Читалин и др., 2014ф	0,24	0,3	
6, 2-1-1)	P ₂	данная работа	0,18	1,5	

Сопоставление оценок ресурсного медного потенциала различных категорий достоверности для некоторых объектов Баимской зоны

Поскольку прямое сравнение цифр прогнозных ресурсов и разведанных запасов не проводится вследствие существенных различий в методиках подсчета, внимание было уделено сопоставлению прогнозируемых содержаний меди в рудах по содержаниям во вторичных ореолах со средней концентрацией металла в расчетном контуре. Практически совпадают прогнозные и наблюдаемые концентрации для руд Главного штокверка месторождения Песчанка (0,65 и 0,67% Си соответственно). Для рядовых руд штокверков Находкинского рудного поля и бедных руд участка Лучик прогнозные содержания занижены на 20-30%. Практический результат по использованию переходных коэффициентов $k \cdot k_0$ для прогноза содержаний меди в рудах по ее концентрациям во вторичных ореолах демонстрирует эффективность разработанной методики, но требует уточнения.

Суммарные прогнозные ресурсы категории P_2 медно-порфировых объектов Баимской зоны по результатам проведенной съемки по вторичным ореолам составляют 26,0 млн т Cu, 448 тыс. т Mo, 1049 т Au. Согласно государственному докладу «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2013 году» (О состоянии..., 2014), сырьевая база меди России составляет около 90 млн т разведанных и предварительно оцененных запасов (A+B+C₁+C₂, в эту оценку входят запасы месторождения Песчанка) и 75,2 млн т прогнозных ресурсов (P₁+P₂+P₃), а значит Баимская зона предоставляет колоссальные перспективы по наращиванию запасов меди, в первую очередь за счет медно-порфировых штокверков Песчанкинской и Находкинской ПЭС. Поскольку руды медно-порфировых месторождений являются комплексными, их разработка приведет к наращиванию отечественных запасов молибдена и золота.

Ядерные зоны вторичных АГХП над потенциальными рудными телами эпитермального золото-серебряного типа характеризуются средними концентрациями не менее 0,15 г/т Au (табл. 30). При этом единственным промышленно значимым объектом данного типа на территории Баимской зоны является месторождение Весеннее, прогнозные ресурсы золота по которому оценены в 406 т Au.

Таблица 30

ПЭС	Au							
	S, км ²	Н, м	С, г/т	Р, м ² %	С _р , г/т	Q, т		
Песчанкинская	0,09	200	0,330	3,3	0,282	14,0		
Таллахская	0,38	200	0,245	11,4	0,180	40,0		
Находкинская, в том числе участки:	1,68	200 и300	0,237	51,1	0,174	515,		
Весенний	1,48	300	0,312	47,5	0,267	406,0		
Находка	0,20	200	0,161	3,6	0,081	26,6		
Светлинская	0,07	200	0,263	2,1	0,224	8,9		
Итого						578,4		

Прогнозные ресурсы золота золото-серебряных руд Баимской зоны (с севера на юг)

Разработанные критерии выявления и оценки медно-порфирового и сопутствующего эпитермального оруденения могут быть использованы при геохимических поисках в горно- и лесотундровых ландшафтах криолитозоны, занимающих значительную часть территории РФ.

Прежде всего это касается выведенного эрозией на поверхность Cu-Mo±Au-порфирового оруденения Олойского меднорудного пояса (Николаев и др., 2013б). Для большей части территории Олойского пояса характерно развитие вулканогенно-осадочных комплексов островодужного типа от среднепалеозойского до позднеюрского возрастов, прорванных гипабиссальными телами нескольких разновозрастных интрузивных комплексов. Меловой магматизм сопровождался проявлением медной, молибденовой и эпитермальной золото-серебряной минерализации. По результатам геохимических съемок по потокам рассеяния здесь

выявлены комплексные аномальные поля еще четырех, помимо Баимского, потенциальных меднорудных районов (рис. 35).



Рисунок 35. Аномальные геохимические поля меднорудных районов и узлов Олойской металлогенической зоны (Николаев и др., 2013б)

Разработанная и апробированная на территории Баимской зоны технология поисков по 200×100 -100×50 использованием по сети м с вторичным ореолам полевого рентгенофлуоресцентного спектрометра позволит эффективно решить задачу по выявлению соответствующих потенциальным телам медно-молибденлитохимических аномалий, порфирового и сопутствующего полиметаллического с золотом и серебром оруденения. Задача по типизации выявленных аномалий в рыхлых отложениях решается путем определения типоморфной геохимической ассоциации. Оценка перспективности АГХП проводится по итогу выделения в их строении внешних, промежуточных и ядерных частей и подсчета концентраций и площадных продуктивностей металлов в контурах. Ядерные части, соответствующие прогнозируемым рудным телам, оконтуриваются по разработанному критерию: содержания в рыхлых отложениях Cu \geq 500 г/т, Au \geq 0,1 г/т (\pm Mo \geq 20 г/т) — для аномальных геохимических структур медно-порфирового типа и Au \geq 0,3 г/т — для АГХП эпитермального Au-Agполиметаллического типа. Проведенные по Находкинскому рудному полю и месторождению Песчанка исследования перераспределения элементов в ходе окисления сульфидных руд и образования вторичных ореолов рассеяния снабжают исследователей коэффициентами пропорциональности *K*, зависимых от ландшафтных условий, с использованием которых возможно оценить содержания полезных компонентов в рудах по их содержаниям в элювиоделювии и провести оценку ресурсов объектов. Сопоставление минералого-геохимических характеристик изучаемого объекта с разработанной моделью геохимической зональности ПЭС Баимской зоны позволит произвести оценку эрозионного среза исследуемого рудного поля в целом, либо отдельных прогнозируемых в нем медно-порфировых штокверков (по показателям зональности AgPbZn/CuBiMo и AgAsSb/CuBiMo). Перечисленные разработанные шаги направлены на совершенствование методики поисков и оценки медно-порфирового и сопутствующего эпитермального оруденения в лесотундровых ландшафтах и зарекомендовали себя по результатам геохимических работ на территории Баимской зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе на примере объектов Баимской меднорудной зоны проведена разработка критериев поисков и оценки медно-порфирового и сопутствующего оруденения применительно к ландшафтно-геохимическим условиям Западной Чукотки. Исследована геохимическая зональность оруденения Находкинской порфирово-эпитермальной системы, принятой за эталонную. В заключении сведены основные полученные выводы и результаты.

Отработана технологическая схема поисков медно-порфирового и сопутствующего золото-серебро-полиметаллического оруденения по вторичным ореолам рассеяния. Показано, что поисковая сеть М 1:20 000 200×100 м сочетает в себе ряд преимуществ, которыми другие сети (500×100 м, 100×100 м, 100×50 м) обладают лишь частично. К ним относится достаточная детальность съемки, позволяющая локализовать потенциальный медно-порфировый штокверк, установить простирание и морфологию его выхода на поверхность по изоконцентрате Cu ≥ 500 г/т в элювио-делювии. Диктуемые сетью плотность и объем пробоотбора позволяют в течение полевого сезона покрывать литохимической съемкой площади в первые сотни км², что соответствует опробованию с поверхности трех-четырех порфирово-эпитермальных систем.

Изучены метрологические характеристики экспрессного рентгенофлуоресцентного анализа, проведенного с использованием полевых анализаторов Niton XL3t900 и Niton FXL-950. По набору стандартных образцов установлена низкая систематическая погрешность измерений на приборах Niton для широкого спектра элементов и прежде всего элементов медно-молибденпорфировой, золото-серебро-полиметаллической минерализации И макроэлементов ассоциирующих с оруденением метасоматитов. Сравнение результатов XRF и прецизионного ICP-MAES анализов литохимических проб также выявило значимую корреляцию между показаниями двух методов. Воспроизводимость анализа на Niton составила менее 10% случайной погрешности для концентраций на уровне и выше минимально-аномальных содержаний во вторичных ореолах. Исключение — серебро: анализ с низкой ошибкой возможен для содержаний Ag ≥ 10 г/т. Уточнены нижние пределы обнаружения элементов и показано, что по результатам полевого XRF анализа возможно производить оценку параметров фона и выделять слабые аномалии на уровне C_{ϕ} $\cdot \varepsilon$ или C_{ϕ} + s Cu, As, Pb, Zn, Mn, Fe, S, K, Ca, на уровне $C_{\phi} \cdot \varepsilon^3$ — Мо и Sb. Для картирования вторичных и первичных ореолов Ag и Au чувствительности экспрессного XRF-анализа недостаточно. Ключевым преимуществом портативного XRF-анализа над традиционно проводимым при геохимических поисках ПКСА является его экспрессность: опыт применения анализаторов Niton демонстрирует существенное ускорение геологоразведочных работ, ведь в один полевой сезон можно получить данные о составе порядка 8 тысяч литохимических проб (при использовании одного прибора), с

применением ГИС-технологий оконтурить структуры геохимического поля и начать проходку канав и бурение скважин под выявленные геохимические аномалии.

По результатам литохимической съемки выделены и охарактеризованы вторичные (и локально первичные) ореолы объектов Баимской зоны. По установленным корреляционным связям между содержаниями элементов в рыхлых отложениях проведена типизация АГХП на медно-порфировые (тесная связь между Cu, Mo, Au; Zn, Pb образуют обособленную группу) и золото-серебряные (главным по степени концентрации элементом является Au; Cu не образует устойчивой группы с Мо и тяготеет к Zn, Pb).

По вторичным ореолам Находкинского рудного поля разработаны критерии для выделения в структуре аномальных геохимических полей следующих зон.

В составе АГХП медно-порфирового типа выделены ядерные зоны с содержаниями $Cu \ge 500$ г/т, $Mo \ge 30$ г/т, $Au \ge 0,1$ г/т, которые соответствуют прогнозируемым медно-порфировым и медно-молибден-порфировым штокверкам. Обрамляющие ядра области содержаний $Cu \ge 300$ г/т, $Mo \ge 10$ г/т, $Au \ge 0,01$ г/т объединены в переходные зоны, отвечающие метасоматитам с сульфидной минерализацией в прожилковых зонах. Внешние зоны АГХП оконтурены по минимально-аномальным содержаниям Cu, Au, Pb, Zn и соотносятся с участками рассеянной медной и сопутствующей полиметаллической минерализации в пропилитизированных породах.

В структуре АГХП золото-серебряного типа ядра, соответствующие жильнопрожилковым зонам кварц-сульфидного состава с золото-серебряной минерализацией, выделены по неразобщенным контурам содержаний золота во вторичных ореолах Au $\ge 0,1$ г/т, внутрь которых попадают пробы с содержаниями более высоких градаций — $\ge 0,3$, ≥ 1 г/т. В переходные зоны включены области развития вторичных ореолов с концентрациями Au 0,1-0,3 г/т и Pb ≥ 300 г/т. Внешним зонам соответствуют вторичные ореолы со слабоаномальными содержаниями Au, Pb, Zn, Cu.

По разработанным критериям на территории Баимской зоны выделено 55 ядерных частей АГХП медно-порфирового типа и 10 — золото-серебряного, соответствующие потенциальным и известным рудным телам. Как правило, они ассоциируют с зонами дробления и трещиноватости в областях заложения разрывных нарушений северо-западного и северовосточного направлений в монцонитах, монцодиоритах и других породах раннемелового егдыгкычского комплекса и экзоконтактах интрузий (геологический поисковый признак). Нами также выявлены ранее неизвестные структуры медно-порфирового типа в позднеюрских вулканитах без видимой привязки к телам егдыгкычского комплекса (Светлинская ПЭС).

Проведены опытно-методические работы по определению местного коэффициента остаточной продуктивности *k* с привязкой к ландшафтно-геохимическим условиям. В

лесотундровом ландшафте северной части месторождения Песчанка установлен слабый вынос из вторичных ореолов Cu (k = 0.48 - 0.85), As (0.71–0.94), отсутствие сколь-либо существенного накопления-выноса Мо (0,89-1,01) и обогащение вторичных ореолов Pb (1,42-1,94), Zn (1,18-1,34). В горнотундровых ландшафтах юга месторождения проявлен слабый вынос Си (0,74-0,88), As (среднее 0,88), Ag (0,68–0,81), нейтральное поведение Au (0,85–1,04), Zn (0,91–1,12), незначительное обогащение Мо (среднее 1,22), Sb (1,44-2,00) и сильное обогащение Pb (1,95-2,67). Практически во всех элементарных ландшафтах Находкинского рудного поля происходит вынос Cu и Ag ($k_{Cu} = 0.56-0.63$, $k_{Ag} = 0.73-0.78$), кроме обстановки крутых осыпных склонов $(k_{Cu} = 1,05-1,07, k_{Ag} = 1,57-1,76)$. Выявлено слабое накопление Au (среднее 1,11) и Pb (1,30-1,32), более интенсивное накопление Sb (1,47-1,55), нейтральное поведение Mo (среднее 1,05), As (0,83–1,21), Zn (среднее 1,07). На участках развития золото-серебряного оруденения в средних частях склонов установлено незначительное обогащение вторичных ореолов золота (1,32), в нижних частях — существенное (2,57), вследствие высвобождения золота из кварца и начала формирования делювиальных россыпей. Показано, что спутники золота (Ag, As, Cu, Pb) слабо обогащают вторичные ореолы (1,00–1,64), и только для Zn характерен вынос из профиля выветривания (0,53-0,96). Установленные коэффициенты остаточной продуктивности сгруппированы по типам ландшафтов.

Изучены характеристики зоны окисления сульфидных руд медно-порфировых штокверков, развитие которой приводит к зональной смене (сверху вниз) зоны окисления и выщелачивания, зоны вторичного сульфидного обогащения и зоны неизмененных первичных руд. Зона окисления развита фрагментарно (связь с современной геоморфологией не подтвердилась), однако, перераспределение элементов существенно, в связи с чем предложен дополнительный к классическому коэффициенту остаточной продуктивности коэффициент пропорциональности k₀ для оценки содержаний металлов в первичных рудах по содержаниям в измененных приповерхностных. Значения коэффициента k₀ сгруппированы по ландшафтной классификации, предложенной для коэффициентов остаточной продуктивности. Полученные значения k_{0Cu} в диапазоне 0,54-0,73 свидетельствуют о тенденции к формированию зон выщелачивания по медно-порфировым штокверкам в основных ландшафтах месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля. И только для обстановки нижних частей склонов средней крутизны в лесотундровом ландшафте установлено значение $k_{0Cu} = 1,02$: здесь, повидимому, преобладающим субстратом для выщелачивания становится зона вторичного сульфидного обогащения, которая не только успевает сформироваться, но и вскрывается на поверхности эрозией. Аналогичные расчеты для золота, которое, по минералогическим исследованиям, находится в медных рудах в борните, реже в пирите и халькопирите, а также для молибдена свидетельствуют о менее значительном, но все же имеющем место выносе в процессе кислотного выщелачивания из золотосодержащих медно-молибденовых руд. Миграционная способность главных химических элементов, оцененная через интенсивность их перераспределения в зоне окисления сульфидных руд, близка теоретической: Cu > Au > Mo.

По значениям комбинированного коэффициента $K = k \times k_0$ сделан вывод о том, что вторичные ореолы меди над медно-порфировыми штокверками ослаблены в среднем вдвое, золота — на четверть и для молибдена ослаблены незначительно.

В результате изучения распределения содержаний элементов и основных сульфидов по Находкинского рудного получены 6 скважинам поля геохимических ассоциаций, пространственное распределение которых коррелирует с развитием минеральных парагенезисов основных стадий рудоотложения. Картирование ассоциаций позволило выявить латеральную и вертикальную геохимическую зональность оруденения Находкинской ПЭС.

Развитие ассоциации FeMnAu пространственно совпадает с областями повышенных содержаний пирита и формирует в структуре рудного поля внешнюю подкову (в плане) раннепорфировой золото-пиритовой минерализации. Вложенная подкова образована областью развития ассоциации MoCu, по которой выделяется халькопирит-молибденитовый парагенезис Си-Мо-порфировых штокверков. Позднепорфировые борнитовые ядра штокверков геохимически выделяются по ассоциации CuBiSe. Внутренняя часть подковы представляется безрудной. Ассоциация SbAsCuSe связана с блекловорудной минерализацией, которая формировалась как на порфировом, так и на эпитермальном этапах развития ПЭС и накладывалась на выше рассмотренные ассоциации. Наложенными являются также ассоциации ZnPbCdMnAgAu и TeAuSeAg. Первая соответствует субэпитермальным и эпитермальным Адполиметаллическим рудам, которые разделяются по минералогическим признакам в составе сопряженных метасоматитов. Вторая ассоциация по составу отвечает Au-Ag минерализации и согласуется с данными о тесном парагенезисе низкопробного самородного золота с гесситом. По значениям предложенного мультипликата AuAgTe/CuMoBiSe 1000, рассчитанного по первичным ореолам оруденения, выделены зоны развития золото-серебряной (>300) и медномолибден-порфировой минерализации (<10).

В программе «НЮ-2» получен ряд вертикальной геохимической зональности меднопорфирового оруденения (обобщенный ряд снизу вверх Mn–Mo–Cd–Cu–Zn–Te–Bi–Au–Se–Ag– Fe–As–Pb–Sb) и ПЭС в целом (Mo–Cu–Cd–Fe–Se–Te–As–Au–Bi–Sb–Mn–Ag–Pb–Zn).

По опорным разрезам изучено распределение основных элементов оруденения на глубину и предложен показатель зональности v_1 =AgPbZn/CuBiMo, применимый для оценки уровня эрозионного среза ПЭС. В числителе дроби представлены основные элементы субэпитермальных и эпитермальных руд, развитых на флангах и/или гипсометрически выше медно-порфирового штокверка, ключевые компоненты которого представлены в знаменателе.

Для расчета значений коэффициента использовались средние содержания элементов на каждом 50-метровом гипсометрическом горизонте. По значениям показателя AgPbZn/CuBiMo проведена оценка уровня эрозионного среза: от менее к более эродированному объекты Находкинского рудного поля сменяют друг друга в следующем порядке: Весенний $(n \cdot 10^1 - n \cdot 10^4)$ – Прямой, Находка $(n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^1)$ – III Весенний $(n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2})$. Предложенный показатель зональности ПЭС отвечает функциям классического отношения PbZn/CuMo, но обладает большей контрастностью и отражает особенность состава медно-порфировых руд Находкинского рудного поля (повышенные концентрации висмута предположительно в составе борнита).

Для оценки уровня среза собственно медно-порфирового оруденения впервые предложен показатель зональности v₂=AgAsSb/CuBiMo, отражающий приуроченность блекловорудной минерализации к верхним горизонтам медно-порфирового оруденения. Объекты Находкинского рудного поля по убыванию степени сохранности штокверков располагаются в том же порядке: Весенний $(n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{1}) - Прямой (n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-1}) - Находка (n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-1}) - III Весенний (n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}).$

Показатели зональности v_1 и v_2 были использованы для оценки уровня эрозионного среза слабоизученных объектов. Установлено, что ПЭС севера Баимской зоны имеют больший эрозионный срез, чем ПЭС на юге.

По параметрам ядерных частей АГХП медно-порфирового типа с использованием установленных коэффициентов k и k_0 были оценены прогнозные ресурсы отдельных участков Баимской зоны. Суммарные прогнозные ресурсы Баимской зоны составили 26,0 млн т меди, 448 тыс. т молибдена, 1049 т золота, что предоставляет колоссальные перспективы по наращиванию отечественных запасов данных металлов, в первую очередь за счет медно-молибден-порфировых штокверков Песчанкинской и Находкинской ПЭС.

С использованием комбинированного коэффициента $K = k \times k_0$ сделан прогноз содержаний меди в рудах по содержаниям во вторичных ореолах. Оценка ожидаемой концентрации меди в рудах Главного штокверка месторождения Песчанка составила 0,65% Сu, что блестяще соотносится с содержаниями, установленными при подсчете разведанных запасов категорий P₁ (0,67% Cu) и C₁+C₂ (0,70% Cu). Для рядовых руд штокверков Находкинского рудного поля и бедных руд участка Лучик прогнозные содержания занижены на 20–30%. Практический результат по использованию переходных коэффициент $k \times k_0$ для прогноза содержаний в рудах демонстрирует эффективность подхода, но требует уточнения. В частности, при изменении критерия выделения ядер АГХП медно-порфирового типа с Cu \geq 500 г/т до, например, Cu \geq 600 г/т, оценка ожидаемых концентраций для бедных и рядовых и рядовых сонцентраций для бедных и рядовых и рядовых сонцентраций для бедных и рядовых сонцентрации в сонцентрации в сонцентрации для бедных и рядовых сонцентрации для бедных сонцентрации для бедных и рядовых сонцентрации для бедных сонцентрации для бедных сонцентрации для бедных сонцентрации для бедных сонцентро
руд поднялась бы, а для богатых изменилась не существенно, что привело бы к большей сходимости с опорными цифрами по данным о разведанных запасах.

Апробированная и зарекомендовавшая себя технология поисков с использованием полевого рентгенофлуоресцентного анализа и разработанные геохимические критерии могут быть использованы для выявления и оценки медно-порфирового и сопутствующего оруденения в Олойском меднорудном поясе и на других территориях, перспективных для обнаружения порфирово-эпитермальных систем, со схожими ландшафтными условиями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АГХП аномальное геохимическое поле
- ВСО вторичное сульфидное обогащение
- ГИС географическая информационная система
- ГРР геологоразведочные работы
- М масштаб
- п.м. погонный метр
- ПКСА приближенно-количественный спектральный анализ
- ПО программное обеспечение
- ПЭС порфирово-эпитермальная система
- РФА рентгенофлуоресцентный анализ
- ТЭО технико-экономическое обоснование
- Х.э. химический элемент
- HS high sulfidation, тип эпитермальных месторождений HS
- ICP-MAES мультиэлементный атомно-эмиссионный анализ с индуктивно связанной плазмой
- IS intermediate sulfidation, тип эпитермальных месторождений IS
- LS low sulfidation, тип эпитермальных месторождений LS
- XRF X-ray fluorescence, рентгенофлуоресцентный анализ
 - Сокращения названий минералов на рисунках:
- Аb альбит
- Adul адуляр
- An ангидрит
- Ві биотит
- Carb карбонат
- Chl хлорит
- Сру халькопирит
- Ер эпидот
- Ga галенит
- Kaol каолинит
- Kfs калиевый полевой шпат
- Мо молибденит
- Mt магнетит
- Ру пирит
- Q кварц
- Ser серицит
- Sp сфалерит

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бакшеев И.А., Николаев Ю.Н., Прокофьев В.Ю., Марущенко Л.И., Нагорная Е.В., Читалин А.Ф., Сидорина Ю.Н., Калько И.А. Золото-молибден-медно-порфировоэпитермальная система Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Металлогения древних и современных океанов 2014 : Материалы 20-й научной молодежной школы. — Миасс : ИМин УрО РАН, 2014. — С. 108–112.
- 2. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA : Учебное пособие для вузов. М. : Горячая линия Телеком, 2013. 288 с.
- Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Егоров В.Н., Шаповалов В.С., Прокофьев В.Ю., Колова Е.Е. Закономерности размещения и условия формирования Аu-содержащих Cu-Moпорфировых месторождений Северо-Востока России // Геология рудных месторождений. 2006. Том 48, № 6. С. 512–539.
- 4. Дубов Р.И. Количественные исследования геохимических полей для поисков рудных месторождений. Новосибирск : Наука, 1974. 277 с.
- 5. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / Министерство геологии СССР. М. : Недра, 1983. 191 с.
- 6. Каминский В.Г. Медно-порфировое оруденение центральной части Баимской металлогенической зоны // Советская геология. 1987. № 6. С. 49–54.
- 7. Каминский В.Г. Комплексная геолого-поисковая модель медно-порфирового месторождения Баимской зоны // Советская геология. 1989. № 11. С. 46–56.
- Карась С.А., Набелкин О.А., Трач Д.А., Филин А.С., Карабаев Г.В. Опыт применения портативного рентгенофлуоресцентного анализатора при выявлении АГХП медного и хромового оруденения // Разведка и охрана недр. 2013. № 8. С. 63–69.
- Комарова Я.С., Костицын Ю.А., Николаев Ю.Н. Возраст молибден-медно-порфирового оруденения месторождения Песчанка, Чукотка // VII Сибирская научно-практическая конференция молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов) : Материалы конференции. — Новосибирск : РИЦ НГУ, 2014. — С. 138–139.
- 10. Комарова Я.С., Аносова М.О., Костицын Ю.А., Николаев Ю.Н., Бакшеев И.А. U-Pb возраст магматических комплексов Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы : Материалы VI Российской конференции по изотопной геохронологии. 2-5 июня 2015 г., Санкт-Петербург, ИГГД РАН. — СПб : Sprinter, 2015. — С. 116–118.
- Котова М.С., Нагорная Е.В., Аносова М.О., Костицын Ю.А., Бакшеев И.А., Николаев Ю.Н., Калько И.А. Датирование метасоматического процесса и рудоносных гранитоидов меднопорфировых месторождений Находкинского рудного поля (Западная Чукотка) //

Геохронометрические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов. Материалы V Российской конференции по изотопной геохронологии. 4–6 июня 2012 г., Москва, ИГЕМ РАН. — М. : ИГЕМ РАН, 2012. — С. 181–184.

- Кривцов А.И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. — М. : Недра, 1983. — 256 с.
- Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. Медно-порфировые месторождения мира. М. : Недра, 1986. — 236 с.
- Кудрявцев Ю.К., Третьякова Е.Н., Сальников А.Е., Рахимипур Г. Геолого-геохимические модели разноранговых рудных объектов (Au)-Mo-Cu-порфирового семейства. — М. : ИМГРЭ, 2012. — 141 с.
- Левченко Е.Н., Набелкин О.А., Филин А.С. Использование портативного РФ-анализатора X-МЕТ при проведении поисково-оценочных геологоразведочных работ // Разведка и охрана недр. 2015. № 6. С. 53–58.
- 16. Леман Е.П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Недра, 1978. 231 с.
- 17. Лубкова Т.Н., Яблонская Д.А., Шестакова Т.В., Липатникова О.А. Состав и формы нахождения элементов в поверхностных водах Находкинского рудного поля, Чукотка // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». Дальнаука, Владивосток, 2015. С. 481–484.
- 18. Лубкова Т.Н., Яблонская Д.А., Шестакова Т.В., Олейникова О.В. Закономерности распределения форм нахождения меди во вторичных ореолах Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Доклады XII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т. 1. МГРИ-РГГРУ, Москва, 2015. С. 368–369.
- Лубкова Т.Н., Яблонская Д.А., Шестакова Т.В., Пухов В.В. Геохимические особенности состава поверхностных вод Находкинского медно-порфирового рудного поля, Чукотка // Вода: химия и экология. 2013. № 12. С. 29–34.
- Марущенко Л.И., Бакшеев И.А., Нагорная Е.В., Читалин А.Ф., Николаев Ю.Н., Калько И.А., Прокофьев В.Ю. Кварц-серицитовые метасоматиты и аргиллизиты Au-Mo-Cu месторождения Песчанка (Чукотка) // Геология рудных месторождений. 2015. Том 57. № 3. C. 239–252.
- Матвеев А.А. Методика литохимических поисков медных месторождений Казахстана : дис. ... канд. геол.-мин. наук. — М., 1981.
- 22. Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С. Перспективы территории Российской Федерации на медно-порфировые руды // Руды и металлы. 2015. № 1. С. 74–92.

- 23. Мигачев И.Ф., Шишаков В.Б. Геолого-поисковая модель медно-порфирового месторождения // Труды / Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов. — 1988. — № 223 : Геолого-поисковые модели месторождений цветных металлов. — С. 47–53.
- 24. Мигачев И.Ф., Шишаков В.Б., Сапожников В.Г., Каминский В.Г. Рудно-метасоматическая зональность медно-порфирового месторождения на Северо-Востоке СССР // Геология рудных месторождений. 1984. № 5. С. 91–94.
- 25. Нагорная Е.В. Минералогия и зональность молибден-медно-порфирового рудного поля Находка, Чукотка : дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2013.
- 26. Наиболее важные открытия в 2015 году новых месторождений и перспективных площадей на твердые полезные ископаемые в Российской Федерации [Электронный ресурс] / Федеральное агентство по недропользованию. — 26.11.2015. — Режим доступа : http://www.rosnedra.gov.ru/article/8309.html; свободный. — Дата обращения: 23.12.2015.
- Николаев Ю.Н., Бакшеев И.А., Прокофьев В.Ю., Нагорная Е.В., Марущенко Л.И., Сидорина Ю.Н., Читалин А.Ф., Калько И.А. Аи-Ад минерализация порфирово-эпитермальных систем Баимской зоны (Западная Чукотка, Россия) // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58, № 4. С. 319–345.
- 28. Николаев Ю.Н., Джеджея Г.Т., Сидорина Ю.Н., Калько И.А. Геохимическая зональность Песчанкинской порфирово-эпитермальной системы (Западная Чукотка) // Разведка и охрана недр. 2016. (в редакции)
- 29. Николаев Ю.Н., Митоян Р.А., Сидорина Ю.Н., Лубкова Т.Н., Яблонская Д.А. Опыт применения полевых рентгенофлуоресцентных анализаторов нового поколения при поисках медно-порфирового оруденения // Разведка и охрана недр. 2013. №2. С. 52–57.
- 30. Николаев Ю.Н., Сидорина Ю.Н., Калько И.А., Аплеталин А.В., Прокофьев В.Ю., Читалин А.Ф. Геохимические поля порфирово-эпитермальных систем, их интерпретация и оценка на основе современных геологических и генетических представлений // Разведка и охрана недр. 2013. № 8. С. 45–50.
- О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2012 году : Государственный доклад / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации ; ООО «Информационно-аналитический центр "Минерал"» ; гл. ред. Д.Г. Храмов. — М., 2013.
- 32. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2013 году : Государственный доклад / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации ; ООО «Минерал-Инфо» ; гл. ред. Д.Г. Храмов. М., 2014.
- 33. Павлова И.Г. Медно-порфировые месторождения. Л. : Недра, 1978. 275 с.

- 34. Перваго В.А. Геология и экономика медно-порфировых месторождений. М. : Недра, 1978.
- 35. Поисковые модели вторичных литохимических ореолов месторождений благородных, цветных и редких металлов / Морозов В.И., Серебрякова Н.А., Николаев Ю.Н. и др. — М. : ИМГРЭ, 1992. — 90 с.
- Попов В.С. Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. М. : Наука, 1977. — 203 с.
- Сидорина Ю.Н. Геохимическая зональность Находкинской порфирово-эпитермальной системы (Западная Чукотка) // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2015. № 2. С. 77–83.
- 38. Сабельников И.С., Лебедев Г.В. Геохимические критерии прогнозирования меднопорфировых объектов (Чукотский АО) // Современные проблемы науки и образования : электронный научный журнал. 2014. № 6.
- 39. Соколов С.В., Юрченко Ю.Ю. Цифровая модель рельефа как основа районирования территории по условиям ведения геохимических работ (на примере Малого Хингана, Дальний Восток) // Геоинформатика. 2010. № 4. С. 54–60.
- Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых : Учебник для вузов. — М. : Недра, 1985. — 294 с.
- 41. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов,
 В.А. Бугров и др. М. : Недра, 1990. 335 с.
- 42. Стружков С.Ф., Аристов В.В., Данильченко В.А., Наталенко М.В., Обушков А.В. Открытия месторождений золота в Тихоокеанском рудном поясе опыт и прогноз // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2008. № 3. С. 79–89.
- 43. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.: Издательство Академии наук СССР, 1951.
- 44. Читалин А.Ф., Воскресенский К.И., Игнатьев Е.К., Ефимов А.А., Колесников А.Г. Малмыж — новая крупная золото-меднопорфировая система мирового класса в Сихоте-Алине (Хабаровский Край, Дальний Восток России) // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 3. С. 65–69.
- 45. Читалин А.Ф., Усенко В.В., Фомичев Е.В. Баимская рудная зона кластер крупных месторождений цветных и драгоценных металлов на западе Чукотского АО // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 6. С. 68–73.
- Щекин К.И. Развитие теории, разработка методов и промышленной аппаратуры многоэлементного рентгенорадиометрического анализа : автореф. дис. ... док. техн. наук. — М., 1998.

- 47. Anderson E.D., Smith S.M., Giles S.A., Granitto Matthew, Eppinger R.G., Bedrosian P.A., Shah A.K., Kelley K.D., Fey D.L., Minsley B.J., Brown P.J. Geophysical, geochemical, and mineralogical data from the Pebble Cu-Au-Mo porphyry deposit area, southwest Alaska: Contributions to assessment techniques for concealed mineral resources. U.S. Geological Survey Data Series 608. — 2011. — 46 p.
- Arne D.C., Mackie R.A., Jones S.A. The use of property-scale portable X-ray fluorescence data in gold exploration: advantages and limitations // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. No. 3. P. 233–244.
- 49. Berger B.R., Ayuso R.A., Wynn J.C., Seal R.R. Preliminary model of porphyry copper deposits.
 U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1321. 2008. 55 p.
- Blanchard R. Interpretation of leached outcrops // Nevada Bureau of Mines Bulletin. 1968. No. 66.
 196 p.
- Candela P.A., Holland H.D. A mass transfer model for copper and molybdenum in magmatic hydrothermal systems: The origin of porphyry-type ore deposits // Economic Geology. 1986. Vol. 81. No. 1. P. 1–19.
- Chaffee M.A. Geochemical exploration techniques based on distribution of selected elements in rocks, soils, and plants, Mineral Butte copper deposit, Pinal County, Arizona // U.S. Geological Survey Bulletin. 1976. 1278–D. P. D1–D55.
- Chaffee M.A. Geochemical exploration techniques based on distribution of selected elements in rocks, soils, and plants, Vekol porphyry copper deposit area, Pinal County, Arizona // U.S. Geological Survey Bulletin. 1977. 1278–E. P. E1–D30.
- Cheng Q. Vertical distribution of elements in regolith over mineral deposits and implications for mapping geochemical weak anomalies in covered areas // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. No. 3. P. 277–289.
- Cook N.J., Ciobanu C.L., Danyushevsky L.V., Gilbert S. Minor and trace elements in bornite and associated Cu-(Fe)-sulfides: A LA-ICP-MS study // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2011. Vol. 75. P. 6473–6496.
- 56. Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls // Economic Geology. 2005. Vol. 100. P. 801–818.
- 57. Corbett G., Leach T. Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization // Society of Economic Geologists Special Publication. 1998. No. 6. 236 p.
- Crane D., Kavalieris I. Geologic overview of the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Cu-Mo deposits, Mongolia // Society of Economic Geologists Special Publication. 2012. Vol. 16. P. 187–213.
- 59. Cunningham C.G., Austin G.W., Naeser C.W., Rye R.O., Ballantyne G.H., Stamm R.G., and Barker C.E. Formation of a paleothermal anomaly and disseminated gold deposits associated with

the Bingham Canyon porphyry Cu-Au-Mo system, Utah // Economic Geology. 2004. Vol. 99. P. 789–806.

- 60. Emmons W.H. The principles of economic geology. 1st ed. New York : McGraw-Hill, 1918.
 550 p.
- 61. Factory-set FP calibration provides precise results in well site geochemistry [Электронный ресурс]
 / Thermo Scientific. 2014. Режим доступа:
 http://www.thermoscientific.com/content/dam/tfs/ATG/CAD/CAD% 20Documents/Application% 20
 &% 20Technical% 20Notes/Portable% 20Analyzers% 20for% 20Material% 20ID/Handheld% 20XRF/F
 P-Calibration-App-Note.pdf; свободный. Дата обращения: 23.12.2015.
- 62. Gazley M.F., Tutt C.M., Brisbout L.I., Fisher L.A., Duclaux G. Application of portable X-ray fluorescence analysis to characterize dolerite dykes at the Plutonic Gold Mine, Western Australia // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. No. 3. P. 223–231.
- Hall G.E.M., Bonham-Carter G.F., Buchar A. Evaluation of portable X-ray fluorescence (pXRF) in exploration and mining: Phase 1, control reference materials // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. P. 99–123.
- Hedenquist J.W., Arribas A. Jr., Reynolds T.J. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines // Economic Geology. 1998. Vol. 93. No. 4. P. 373–404.
- 65. Hedenquist J.W., Arribas A. Jr., Gonzalez-Urien E. Exploration for epithermal gold deposits // Reviews in Economic Geology. 2000. Vol. 13. P. 245–277.
- Heinrich C.A., Günther D., Audétat A., Ulrich T., Frischknecht R. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions // Geology. 1999. Vol. 27. No. 8. P. 755–758.
- 67. Henley R.W., Berger B.R. Self-ordering and complexity in epizonal mineral deposits // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2000. Vol. 28. P. 669–719.
- Holliday J.R., Cooke D.R. Advances in geological models and exploration methods for copper ± gold porphyry deposits // Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration Editor: B. Milkereit. 2007. P. 791-809.
- Hollister V.F. Geology of the porphyry copper deposits of the Western Hemisphere / Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers. — New York, 1978.
- Hou Z., Zhang H., Pan X., Yang Z. Porphyry Cu (-Mo-Au) deposits related to melting of thickened mafic lower crust: examples from the eastern Tethyan metallogenic domain // Ore Geology Reviews. 2011. Vol. 39. P. 21–45.

- 71. Ida H. X-ray fluorescence analysis with portable instruments : PhD thesis. Kyoto, 2004. —
 153 p.
- 72. John D.A., Ayuso R.A., Barton M.D., Blakely R.J., Bodnar R.J., Dilles J.H., Gray F., Graybeal F.T., Mars J.C., McPhee D.K., Seal R.R., Taylor R.D., Vikre P.G. Porphyry copper deposit model // Mineral deposit models for resource assessment. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-B. 2010. 169 p.
- Kesler S.E., Chryssoulis S.L., Simon G. Gold in porphyry copper deposits: its abundance and fate // Ore Geology Reviews. 2002. Vol. 21. P. 103–124.
- 74. Kotlyar B.B., Theodore T.G., Singer D.A., Moss K., Campo A.M. Geochemistry of the gold skarn environment at Copper Canyon, Battle Mountain mining district, Nevada — An update // Field trip guidebook #9. Porphyry deposits of the Great Basin / Geological Society of Nevada. — 2005.
- Kouzmanov K., Pokrovski G.S. Hydrothermal controls on metal distribution in porphyry Cu (-Mo-Au) systems // Society of Economic Geologists Special Publication. 2012. No. 16. P. 573–618.
- Lang J.R., Eastoe C.J. Relationships between a porphyry Cu-Mo District, base and precious metal veins, and laramide intrusions, Mineral Park, Arizona // Economic Geology. 1988. Vol. 83. P. 551-567.
- 77. Landtwing M.R., Furrer C., Redmond P.B., Pettke T., Guillong M., Heinrich C.A. The Bingham canyon porphyry Cu-Mo-Au deposit. III. Zoned copper-gold ore deposition by magmatic vapor expansion // Economic Geology. 2010. Vol. 105. P. 91–118.
- Lemiere B., Laperche V., Haouche L., Auger P. Portable XRF and wet materials: application to dredged contaminated sediments from waterways // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. No. 3. P. 257–264.
- 79. Lowell J.D., Guilbert J.M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits // Economic Geology. 1970. Vol. 65. P. 373–408.
- Masterman G.J., Cooke D.R., Berry R.F. Fluid chemistry, structural setting, and emplacement history of the Rosario Cu-Mo porphyry and Cu-Ag-Au epithermal veins, Collahuasi district, Northern Chile // Economic Geology. 2005. Vol. 100. P. 835–862.
- McMillan W.J. Porphyry Cu-Mo deposits of the Highland Valley district, Guichon Creek batholith, British Columbia, Canada // Super porphyry copper and gold deposits: A global perspective / Porter T.M., ed. — Adelaide : Porter GeoConsultancy Publishing, 2005. — Vol. 1. — P. 259–274.
- Meinert L.D., Dipple G.M., Nicolescu S. World skarn deposits // Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. P. 299–336.
- Meyer C., Shea E.P., Coddard C.C. Jr. and staff. Ore deposits at Butte, Montana // Ore deposits of the United States, 1933-1967 / Editor Ridge J.D.; American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers. — New York : 1968. — Vol. 2. — P. 1373–1416.

- 84. Mihalasky M.J., Ludington S., Alexeiev D.V., Frost T.P., Light T.D., Briggs D.A., Hammarstrom J.M., Wallis J.C. Porphyry copper assessment of northeast Asia — Far East Russia and Northeasternmost China. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5090-W. — 2015. — 104 p.
- 85. Mutschler F.E., Ludington S., Bookstrom A.A. Giant porphyry-related metal camps of the world a database // U.S. Geological Survey Open-File Report 99-556. 1999. 6 p.
- Parsons A.B. The porphyry coppers / American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. New York, 1933. — 581 p.
- Pollard P.J., Taylor R.G. Paragenesis of the Grasberg Cu-Au deposit, Irian Jaya, Indonesia: results from logging section 13 // Mineralium Deposita. 2002. Vol. 37. P. 117–136.
- Proffett J.M. Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Argentina // Economic Geology. 2003. Vol. 98. P. 1535–1574.
- Quiniou T., Laperche V. An assessment of field-portable X-ray fluorescence analysis for nickel and iron in laterite ore (New Caledonia) // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. No. 3. P. 245–255.
- Richards J.P. Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: products of remelting of subduction-modified lithosphere // Geology. 2009. Vol. 37. No. 3. P. 247–250.
- Richards J.P. Giant ore deposits formed by optimal alignments and combinations of geological processes // Nature Geoscience. 2013. Vol. 6. P. 911–916.
- Seedorff E., Dilles J.H., Proffett Jr. J.M., Einaudi M.T., Zurcher L., Stavast W.J.A., Johnson D.A., Barton M.D. Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features // Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. P. 251–298.
- Seo J.H., Guillong M., Heinrich C.A. The role of sulfur in the formation of magmatic-hydrothermal copper-gold deposits // Earth and Planetary Science Letters. 2009. Vol. 282. P. 323–328.
- 94. Sillitoe R.H. Exploration and discovery of base- and precious-metal deposits in the Circum-Pacific region during the last 25 years // Resource Geology Special Issue. 1995. No. 19. 119 p.
- Sillitoe R.H. Supergene oxidized and enriched porphyry copper and related deposits // Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. P. 723–768.
- 96. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // Economic Geology. 2010. Vol. 105. P. 3-41.
- Sillitoe R.H. Exploration and discovery of base- and precious-metal deposits in the Circum-Pacific region // Abstracts of the 36th Annual Winter Meeting Mineral Deposit Studies Group, University of Leicester, 2-4 January 2013. 2013. P. 98.
- Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid composition, and epithermal precious metal deposits // Society of Economic Geologists Special Publication. 2003. No. 10. P. 315–343.

- Sillitoe R.H., Thompson J.F.H. Changes in mineral exploration practice: consequences for discovery // Society of Economic Geologists Special Publication. 2006. No. 12. P. 193–219.
- 100. Simandl G.J., Paradis S., Stone R.S., Fajber R., Kressall R.D., Grattan K., Crozier J., Simandl L.J. Applicability of handheld X-Ray fluorescence spectrometry in the exploration and development of carbonatite-related niobium deposits: a case study of the Aley Carbonatite, British Columbia, Canada // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. No. 3. P. 211–221.
- 101. Simon G., Kesler S.E., Essene E.J., Chryssoulis S.L. Gold in porphyry copper deposits: experimental determination of the distribution of gold in the Cu-Fe-S system at 400° to 700°C // Economic Geology. 2000. Vol. 95. No. 2. P. 259–270.
- 102. Sinclair W.D. Porphyry deposits // Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods / Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division ; Goodfellow W.D., ed. 2007. Special Publication No. 5. P. 223–243.
- 103. Singer D.A., Berger V.I., Moring B.C. Porphyry copper deposits of the world database and grade and tonnage models, 2008. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1155. — 2008. — 45 p.
- 104. Somarin A. Application of portable XRF analyzers in Au and PGE exploration: an example from the Bushveld Complex, South Africa // Mineralogical Magazine. 2013. Vol. 77, no. 5. P. 2236.
- 105. Somarin A. Importance of sample preparation in handheld XRF technique: examples from Madero Pb-Zn (Mexico) and Carmax Cu-Mo (Canada) deposits // Goldschmidt Abstracts. 2014. P. 2350.
- 106. Somarin A., Clifford D. Identification of Cu-Mo anomalous zones using the Thermo Scientific Niton portable XRF analyzer in the Eaglehead Cu-Mo porphyry deposit, British Columbia, Canada // Mineralogical Magazine. 2012. Vol. 76, no. 6. P. 2393.
- 107. Titley S.R., Beane R.E. Porphyry copper deposits // Economic Geology 75th Anniversary volume.1981. P. 214–269.
- 108. Titley S.R., Hicks C.L. Geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America. —
 Tucson : University of Arizona Press, 1966. 287 p.
- 109. Titley S.R., Marozas D.C. Processes and products of supergene copper enrichment // Arizona Geological Society Digest. 1995. No. 20. P. 156–168.
- 110. Urqueta E., Kyser T.K., Clark A.H., Stanley C.R., Oates C.J. Lithogeochemistry of the Collahuasi porphyry Cu-Mo and epithermal Cu-Ag (-Au) cluster, northern Chile: Pearce element ratio vectors to ore // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2009. Vol. 9. No. 1. P. 9–17.
- 111. Vaillant M. L., Barnes S.J., Fisher L., Fiorentini M.L., Caruso S. Use and calibration of portable X-Ray fluorescence analysers: application to lithogeochemical exploration for komatiite-hosted nickel sulphide deposits // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. No. 3. P. 199–209.

- 112. Watanabe Y., Hedenquist J.W. Mineralogic and stable isotope zonation at the surface over the El Salvador porphyry copper deposit, Chile // Economic Geology. 2001. Vol. 96. P. 1775–1797.
- 113. Yongqing Ch., Jingling H., Zhen L. Geochemical characteristics and donation of primary halos of Pulang porphyry copper deposit, Northwestern Yunnan province, Southwestern China // Journal of China University of Geosciences. 2008. Vol. 19, no. 4. P. 371–377.
- 114. Yuan Z., Cheng Q., Xia Q., Yao L., Chen Z., Zuo R., Xu D. Spatial patterns of geochemical elements measured on rock surfaces by portable X-ray fluorescence: application to hand specimens and rock outcrops // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2014. Vol. 14. No. 3. P. 265–276.

Фондовая:

- 115. Вяткин Б.В. и др. Информационный отчет о результатах незавершенных работ по объекту «Создание цифрового комплекта карт геологического содержания масштаба 1:500 000 территории Чукотского автономного округа (мониторинг региональных геологических исследований в масштабе 1:500 000)» / ФГУГП «Георегион». — Анадырь: 2004. — № 483965.
- 116. Долинин Л.В., Акименко А.В., Шарудо Е.А. Отчет о геологической съемке масштаба 1:50 000 (листы Q-58-53-Б, Г; Q-58-54-А, Б, В, Г) и поисках месторождений меди в басс. верховьев р. Баимки за 1976-1977 годы (Ярганский ГСО) / Анюйская комплексная геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1978. — Чукотский ТГФ, № 3726.
- 117. Каминский В.Г., Баранов С.А. Отчет о поисках комплексных золото-медно-молибденовых руд в бассейне р. Егдэгкыч-Песчанка (II Песчаный ПОО) за 1978-1982 г.г. / Анюйская геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1982. — Чукотский ТГФ, № 4252.
- 118. Каминский В.Г., Гаман А.И., Колеватых С.А. Отчет о детальных поисках на флангах месторождения «Песчанка» (Ш Песчаный ПОО) за 1982-1984 гг. / Анюйская геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1984. — Чукотский ТГФ, № 4505.
- 119. Николаев Ю.Н. Отчет по объекту «Поисковые геологические и геохимические работы на медь и золото в пределах Баимской перспективной площади (Чукотский АО)» за 2010 г. / ООО «ГЕОХИМПОИСКИ». — М. : 2010.
- 120. Николаев Ю.Н. Отчет по объекту «Детальное минералого-геохимическое картирование с целью локализации потенциальных медно-порфировых рудных тел штокверкового типа в пределах Находкинского рудного поля (Чукотский АО)» за 2011 г. / ООО «ГЕОХИМПОИСКИ СВ». — М. : 2011.
- 121. Николаев Ю.Н., Шатнов В.Ю. Отчет по объекту «Детальные геохимические поиски с целью локализации потенциальных медно-порфировых рудных тел штокверкового типа в пределах

Юряхского рудного поля и участков Топь и Егдыгкич (Чукотский АО) в 2011-2012 гг.» за 2012 г. / ООО «ГЕОХИМПОИСКИ СВ». — М. : 2012.

- 122. Николаев Ю. Н., Шатнов В. Ю. Отчет по объекту «Поисковые геохимические работы с целью выявления и локализации потенциальных меднорудных тел на флангах Баимской площади и исследование геохимической зональности медно-порфировых месторождений 2014 Песчанка Находка (Чукотский AO) В 2013-2014 Г. / И ГГ.**»** за ООО «ГЕОХИМПОИСКИ СВ». — М. : 2014.
- 123. Погорелов В.И., Гаман А.И. Отчет о детальных поисках в восточной части Находкинского рудного поля за 1984-1985 г.г. / Анюйская геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1985. — Чукотский ТГФ, № 4688.
- 124. Погорелов В.И., Гаман А.И., Колеватых С.А. Отчет по общим поискам в пределах центральной части Баимской рудной зоны за 1982-1985 г.г. / Анюйская геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1985. — Чукотский ТГФ, № 4664.
- 125. Сокиркин Г.И. Отчет о работе Песчаного поисково-разведочного отряда по поискам и оценке коренных источников золота, молибдена, меди в бассейне р. Песчанка за 1975 год / Анюйская комплексная геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1977. — Чукотский ТГФ, № 3365.
- 126. Сокиркин Г.И. Отчет по поискам месторождений комплексных медно-молибденово-золотых руд на восточном фланге Анюйского медно-порфирового проявления (II Находкинский поисково-оценочный отряд) за 1976 год / Анюйская комплексная геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1978. — Чукотский ТГФ, № 3533.
- 127. Сокиркин Г.И., Каминский В.Г. Отчет по поискам месторождений комплексных медномолибденово-золотых руд в басс. р.р. Баимка, Аскет, Курья за 1977 год (III Находкинский поисково-оценочный отряд) / Анюйская комплексная геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1979. — Чукотский ТГФ, № 3695.
- 128. Сокиркин Г.И., Кононов В.А., Иванов В.А. Отчет о работе Находкинской поисковооценочной партии масштаба 1:10 000 за 1972 год / Анюйская комплексная геологоразведочная экспедиция. — Билибино : 1973. — Чукотский ТГФ, № 2841.
- 129. Читалин А.Ф, Николаев Ю.Н. и др. Отчет по результатам поисково-оценочных работ на медь и золото в пределах Баимской перспективной площади (Чукотский АО), проведенных в 2009-2014 гг. с оценкой запасов и прогнозных ресурсов / Росгеолфонд; ЧТФГИ по Чукотскому АО; ООО «ГДК Баимская»; ООО «Геохимпоиски CB». — М. : 2014.
- 130. Шавкунов Б.Н. Отчет о работе II-ой Весенней поисково-разведочной партии на 1966 год / Анюйское районное геологоразведочное управление. — Билибино : 1967. — Чукотский ТГФ, № 1862.

- 131. Шавкунов Б.Н., Иванова И.В., Головач Т.Н. Отчет о работе III Весенней поисковоразведочной партии за 1967 год / Анюйское районное геологоразведочное управление. — Билибино : 1969. — Чукотский ТГФ, № 2150.
- 132. Шавкунов Б.Н., Теребенина В.А. Отчет Весенней поисково-разведочной партии м-ба
 1:10 000 за 1965 г. / Анюйское районное геолого-разведочное управление. Билибино : 1966. Чукотский ТГФ, № 1746.
- 133. Шишаков В.Б., Мараева Р.Н. и др. Оценка перспектив центральной части Баимской металлогенической зоны на меднопорфировое оруденение : отчет о НИР «Оценить перспективы восточных районов СССР на медно-порфировые руды и обосновать направления геологоразведочных работ» / Союзгеолфонд; ЦНИГРИ; ПГО «Севвостгеология»; Анюйская геологоразведочная экспедиция. М. : 1986. Чукотский ТГФ, № 4892.
- 134. Шишаков В.Б., Мигачев И.Ф. и др. Геологическое строение, вещественный состав, золотоносность и обогатимость руд Анюйского медно-порфирового месторождения (Песчанка) : отчет о НИР «Оценка перспектив восточных районов СССР на меднопорфировые руды для обоснования направлений геологоразведочных работ» / Союзгеолфонд; ЦНИГРИ; ПГО «Севвостгеология»; Анюйская геологоразведочная экспедиция. — М. : 1983. — Чукотский ТГФ, № 4313.

Нормативно-технические документы:

- 135. ГОСТ Р ИСО 5725. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений : в 6 ч. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
- 136. ГОСТ 7.1—2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2004.
- 137. ГОСТ Р 7.0.11—2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М. : Стандартинформ, 2012. 16 с.
- 138. Отраслевой реестр стандартных образцов, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРР на ТПИ / Федеральное агентство по недропользованию, ФГУП «ВИМС». — Москва, 2015. — 114 с.
- 139. Приложение к свидетельству № 43722-10 об утверждении типа средств измерений. Спектрометры рентгенофлуоресцентные моделей NITON XL2, NITON XL3t / ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». 2010. 5 с.

- 140. Свидетельство на стандартный образец состава руды колчеданно-барит-полиметаллической ГСО 3596-86 / Министерство геологии Казахской ССР, Центрально-Казахстанское производственное геологическое объединение, Центральная лаборатория. 1986. 11 с.
- 141. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ : Методические рекомендации. Составитель Арнаутов Н.В. — Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1987. — 204 с.
- 142. Certificate of analysis for Au-Cu-Mo-S ore reference material OREAS 501 / Ore research and exploration PTY LTD. 2011. 7 p.
- 143. Certificate of analysis for Au-Cu-Mo-S ore reference material OREAS 502 / Ore research and exploration PTY LTD. 2011. 7 p.
- 144. Certificate of analysis for Au-Cu-Mo-S ore reference material OREAS 503 / Ore research and exploration PTY LTD. 2011. 7 p.
- 145. Certificate of analysis for Au-Cu-Mo-S ore reference material OREAS 504 / Ore research and exploration PTY LTD. 2011. 7 p.
- 146. Certificate of analysis for quartz gold & base metal blank OREAS 22b / Ore research and exploration PTY LTD. 16 p.
- 147. Certificate of analysis. Provisional values. TILL-1, TILL-2, TILL-3 and TILL-4 / Canadian Certified Reference Materials Project. 1995. 8 p.
- 148. Certified reference material BAM-U110 / Bundesanstalt f
 ür Materialforschung und pr
 üfung. 2006.24 p.
- 149. NITON XL3t 900 analyzer with GOLDD technology user's guide. Version 6.5 / Thermo Scientific.289 p.
- 150. NITON XL3p 600 analyzer user's guide. Version 6.3 / Thermo Scientific. 204 p.
- 151. Standard reference material 2702. Certificate of analysis / National Institute of Standards and Technology. 2012. 5 p.
- 152. Standard reference material 2709a. Certificate of analysis / National Institute of Standards and Technology. 2009. 8 p.
- 153. Standard reference material 2710a. Certificate of analysis / National Institute of Standards and Technology. 2009. 9 p.
- 154. Standard reference material 2711a. Certificate of analysis / National Institute of Standards and Technology. 2009. 8 p.
- 155. Standard reference material 2780. Certificate of analysis / National Institute of Standards and Technology. 2012. 4 p.
- 156. Standard reference material 2781. Certificate of analysis / National Institute of Standards and Technology. 1996. 6 p.

Приложение 1. Результаты анализа стандартных образцов спектрометром Niton FXL-950

Верхняя строка — значения содержаний по паспорту (зеленым — аттестованные, синим — референсные, красным — справочные); нижняя строка с серой заливкой — результаты XRF-анализа; <LOD — ниже предела обнаружения, *m/n — m* определений из *n* измерений.

Стандарт	Ag, г/т (Soil)	Al, % (Mining)	As, г/т (Soil)	Au, г/т (Soil)	Ba, г/т (Soil)	Ca, % (Soil)	Cd, г/т (Soil)	Co, г/т (Soil)
2020.70	33 ±3		3500 ± 100	$1,6\pm 0,2$	8700		103 ±5	40 ±7
2029-79	42 ±2 (2/2)	5,58 ±0,24 (2/2)	3173 ±12 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>20320 ±247 (2/2)</td><td>4,07 ±0,002 (2/2)</td><td>103 ±2 (2/2)</td><td>37 ±3 (2/2)</td></lod>	20320 ±247 (2/2)	4,07 ±0,002 (2/2)	103 ±2 (2/2)	37 ±3 (2/2)
2702	$0,622 \pm 0,078$	8,41 ±0,22	45,3 ±1,8		397,4 ±3,2	$0,34 \pm 0,02$	$0,817 \pm 0,011$	27,76 ±0,58
2702	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>9,17 ±0,12 (4/4)</td><td>54 ±3 (6/6)</td><td><lod (0="" 6)<="" td=""><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td>0,38 ±0,01 (4/4)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td>7 (1/6)</td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	9,17 ±0,12 (4/4)	54 ±3 (6/6)	<lod (0="" 6)<="" td=""><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td>0,38 ±0,01 (4/4)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td>7 (1/6)</td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>0,38 ±0,01 (4/4)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td>7 (1/6)</td></lod></td></lod>	0,38 ±0,01 (4/4)	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>7 (1/6)</td></lod>	7 (1/6)
2700.		7,37 ±0,16	$10,5 \pm 0,3$		979 ±28	1,91 ±0,09	$0,371 \pm 0,002$	12,8 ±0,2
2709a	<lod (0="" 62)<="" td=""><td>6,70 ±0,56 (5/5)</td><td>12 ±1 (66/66)</td><td>6 ±1 (22/66)</td><td>924 ±24 (62/62)</td><td>2,25 ±0,03 (62/62)</td><td>5 ±0,4 (3/62)</td><td>6 ±1 (8/66)</td></lod>	6,70 ±0,56 (5/5)	12 ±1 (66/66)	6 ±1 (22/66)	924 ±24 (62/62)	2,25 ±0,03 (62/62)	5 ±0,4 (3/62)	6 ±1 (8/66)
27100	40	$5,95 \pm 0,05$	1540 ± 100	0,2	792 ± 36	$0,96 \pm 0,05$	12,3 ±0,3	5,99 ±0,14
2710a	34 ±3 (58/58)	5,57 ±0,63 (5/5)	1676 ±23 (60/60)	<lod (0="" 60)<="" td=""><td>822 ±27 (58/58)</td><td>0,89 ±0,02 (58/58)</td><td>14 ±2 (58/58)</td><td>8 ±2 (6/60)</td></lod>	822 ±27 (58/58)	0,89 ±0,02 (58/58)	14 ±2 (58/58)	8 ±2 (6/60)
27110	6	6,72 ±0,06	107 ±5		730 ±15	$2,42 \pm 0,06$	54,1 ±0,5	9,89 ±0,18
2711a	5 ±1 (45/59)	5,84 ±0,48 (5/5)	108 ±8 (61/61)	7 ±2 (5/61)	693 ±24 (59/59)	2,58 ±0,04 (59/59)	49 ±2 (59/59)	5 ±1 (6/61)
2780	27	8,87 ±0,33	$48,8\pm 3,3$	0,18	993 ±71	$0,20 \pm 0,02$	$12,10\pm 0,24$	2,2
2780	26 ±1 (2/2)	9,27 ±0,24 (4/4)	45 ±15 (4/4)	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>1139 ±17 (2/2)</td><td>0,29 ±0,0005 (2/2)</td><td>15 ±0,05 (2/2)</td><td>6 ±1 (4/4)</td></lod>	1139 ±17 (2/2)	0,29 ±0,0005 (2/2)	15 ±0,05 (2/2)	6 ±1 (4/4)
2791	98 ±8	$1,60 \pm 0,10$	$7,82 \pm 0,28$			$3,90 \pm 0,10$	$12,78\pm0,72$	
2781	18 ±1 (2/2)	1,49 ±0,17 (4/4)	23 ±5 (4/4)	<lod (0="" 4)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>7,62 ±0,04 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>3 (1/4)</td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>7,62 ±0,04 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>3 (1/4)</td></lod></td></lod>	7,62 ±0,04 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>3 (1/4)</td></lod>	3 (1/4)
2901.94	708 ±5	1,88				0,61	290 ± 20	
2891-84	708 ±19 (2/2)	4,80 ±0,50 (2/2)	1205 ±78 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>842 ±10 (2/2)</td><td>0,68 ±0,01 (2/2)</td><td>305 ±10 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	842 ±10 (2/2)	0,68 ±0,01 (2/2)	305 ±10 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
2020.04	8,6 ±0,6	5,74 ±0,08				13,53 ±0,13		
3030-84	8 ±0,2 (2/2)	6,14 ±0,25 (2/2)	17 ±1 (2/2)	$12 \pm 1 (2/2)$	338 ±9 (2/2)	14,12 ±0,08 (2/2)	8 (1/2)	14 (1/2)
2504.96	107 ±3	0,24	1800 ± 100	12,1 ±0,6	107000 ± 1000	0,07	75 ±5	
3594-86	101 ±12 (2/2)	1,12 ±0,47 (2/2)	1478 ±0,4 (2/2)	112 ±11 (2/2)	107967 ±850 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>91 ±3 (2/2)</td><td>81 ±7 (2/2)</td></lod>	91 ±3 (2/2)	81 ±7 (2/2)
2506.06	155,4 ±4,1	0,21	12100 ± 400	7,6 ±0,3	250000 ± 2000	0,19	52,5 ±3,1	
3596-86	167 ±10 (2/2)	0,76 ±0,10 (2/2)	11674 ±36 (2/2)	99 ±22 (2/2)	190626 ±4771 (2/2)	0,13 ±0,01 (2/2)	58 ±18 (2/2)	44 ±4 (2/2)
7104.05	0,16	6,24 ±0,13	10		550 ±60	2,07 ±0,08	2	12 ±2
7184-95	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>5,69 ±0,17 (2/2)</td><td>5 ±0,2 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>130 ±21 (2/2)</td><td>2,21 ±0,01 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>5 ±1 (2/2)</td></lod></td></lod></td></lod>	5,69 ±0,17 (2/2)	5 ±0,2 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>130 ±21 (2/2)</td><td>2,21 ±0,01 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>5 ±1 (2/2)</td></lod></td></lod>	130 ±21 (2/2)	2,21 ±0,01 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>5 ±1 (2/2)</td></lod>	5 ±1 (2/2)
	16 ±2		540 ±70	$1,7\pm0,2$			35 ±4	10
/93-76	$33 \pm 0 (2/2)$	0,64 (1/2)	398 ±13 (2/2)	21 (1/2)	452 ±50 (2/2)	$0,02 \pm 0,0002 (2/2)$	44 ±6 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
	0,5	$2,20\pm 0,05$	11		460	$1,04 \pm 0,04$	2	9,6
8097-2002	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>2,82 ±0,18 (2/2)</td><td>9 ±1 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>$161 \pm 6 (2/2)$</td><td>$1,34 \pm 0,003 (2/2)$</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>2 (1/2)</td></lod></td></lod></td></lod>	2,82 ±0,18 (2/2)	9 ±1 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$161 \pm 6 (2/2)$</td><td>$1,34 \pm 0,003 (2/2)$</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>2 (1/2)</td></lod></td></lod>	$161 \pm 6 (2/2)$	$1,34 \pm 0,003 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>2 (1/2)</td></lod>	2 (1/2)
	94 ±5	$1,90 \pm 0,08$	7630	$12,3\pm 0,8$		0,05		
8488-2003	86 ±1 (2/2)	4,09 ±0,19 (4/4)	8075 ±23 (4/4)	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>457 ±30 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>51 ±2 (2/2)</td><td>32 ±6 (4/4)</td></lod></td></lod>	457 ±30 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>51 ±2 (2/2)</td><td>32 ±6 (4/4)</td></lod>	51 ±2 (2/2)	32 ±6 (4/4)
	232 ±7	1,11 ±0,07	430 ±40	$2,49 \pm 0,28$	172500 ±2200	1,11 ±0,06	600 ± 50	11 ±4
8779-2006	243 ±4 (2/2)	2,67 ±0,21 (4/4)	580 ±46 (4/4)	129 ±20 (4/4)	118060 ±747 (2/2)	$1,32 \pm 0,001 (2/2)$	598 ±2 (2/2)	18 ±2 (4/4)
	4,51	5,04 ±0,11	$15,8\pm 1,4$		1488 ± 187	4,06 ±0,21	$7,3\pm 0,6$	$16,2\pm 1,6$
BAM-UII0	<lod (0="" 57)<="" td=""><td>4,54 ±0,36 (5/5)</td><td>17 ±3 (59/59)</td><td>7 ±2 (7/59)</td><td>1147 ±27 (57/57)</td><td>4,88 ±0,07 (57/57)</td><td>7 ±1 (46/57)</td><td>6 ±2 (4/59)</td></lod>	4,54 ±0,36 (5/5)	17 ±3 (59/59)	7 ±2 (7/59)	1147 ±27 (57/57)	4,88 ±0,07 (57/57)	7 ±1 (46/57)	6 ±2 (4/59)
	<0,1		<1	<0,002	$6,9\pm 0,6$		<0,1	0,61 ±0,02
OREAS 220	<lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 1)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0,01 ±0,01 (40/61)</td><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 1)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0,01 ±0,01 (40/61)</td><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0,01 ±0,01 (40/61)</td><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0,01 ±0,01 (40/61)</td><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""><td>0,01 ±0,01 (40/61)</td><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod>	0,01 ±0,01 (40/61)	<lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""></lod>
000000000000000000000000000000000000000	0,85	7,83	21	0,204 ±0,011	1012	3,07	1,1	13
OREAS 501	<lod (0="" 53)<="" td=""><td>5,55 (1/1)</td><td>17 ±2 (53/53)</td><td>7 ±1 (15/53)</td><td>1014 ±35 (53/53)</td><td>3,05 ±0,04 (53/53)</td><td>6 ±0,2 (3/53)</td><td>7 ±1 (2/53)</td></lod>	5,55 (1/1)	17 ±2 (53/53)	7 ±1 (15/53)	1014 ±35 (53/53)	3,05 ±0,04 (53/53)	6 ±0,2 (3/53)	7 ±1 (2/53)
ODE A G 500	1,8	7,62	21	0,491 ±0,020	922	3,00	1,1	16
OREAS 502	3 ±1 (2/53)	5,82 (1/1)	21 ±3 (53/53)	8 ±1 (17/53)	912 ±40 (53/53)	2,86 ±0,06 (53/53)	7 ±1 (5/53)	9 ±4 (2/53)
	1,5	7,62	22	$0,687 \pm 0,024$	896	2,79	1,1	14
OREAS 503	4 ±2 (2/53)	5,49 (1/1)	31 ±8 (53/53)	7 ±1 (9/53)	851 ±38 (53/53)	2,65 ±0,07 (53/53)	7 ±1 (3/53)	9 ±1 (2/53)
	3,0	6,99	6,5	1,48 ±0,04	604	3,00	1,0	22
OREAS 504	3 (1/2)		13 ±4 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>698 ±26 (2/2)</td><td>2,93 ±0,02 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>11 ±3 (2/2)</td></lod></td></lod>	698 ±26 (2/2)	2,93 ±0,02 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>11 ±3 (2/2)</td></lod>	11 ±3 (2/2)
	500 ±100		500 ±100		1000		500 ± 100	
KCKA	454 ±6 (56/56)	14,83 ±1,33 (5/5)	467 ±6 (58/58)	20 ±3 (15/58)	994 ±26 (56/56)	3,91 ±0,05 (56/56)	444 ±7 (56/56)	9 ±2 (4/58)
		7,62	111	0,005	395	0,89		8
TILL-4	<lod (0="" 60)<="" td=""><td>6,80 ±0,76 (5/5)</td><td>109 ±3 (62/62)</td><td>10 ±2 (60/62)</td><td>484 ±24 (60/60)</td><td>0,91 ±0,03 (60/60)</td><td>6 ±1 (8/60)</td><td>7 ±2 (4/62)</td></lod>	6,80 ±0,76 (5/5)	109 ±3 (62/62)	10 ±2 (60/62)	484 ±24 (60/60)	0,91 ±0,03 (60/60)	6 ±1 (8/60)	7 ±2 (4/62)

Приложение 1 (продолжение)

Стандарт	Cr, г/т (Soil)	Cs, г/т (Soil)	Cu, r/r (Soil)	Fe, % (Soil)	Hg, г/т (Soil)	K, % (Soil)	Mn, г/т (Soil)
2029-79			30000 ± 500	25,9	43 ±5		
2029-19	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>34 ±5 (2/2)</td><td>34 ±5 (2/2)</td><td>48,58 ±0,14 (2/2)</td><td>108 ±13 (2/2)</td><td>0,42 ±0,003 (2/2)</td><td>1887 ±81 (2/2)</td></lod>	34 ±5 (2/2)	34 ±5 (2/2)	48,58 ±0,14 (2/2)	108 ±13 (2/2)	0,42 ±0,003 (2/2)	1887 ±81 (2/2)
2702	352 ± 22	7,1	117,7 ±5,6	7,91 ±0,24	$0,4474 \pm 0,0069$	2,05 ±0,07	1757 ±58
2702	372 ±18 (4/4)	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>120 ±6 (6/6)</td><td>9,76 ±0,13 (6/6)</td><td><lod (0="" 6)<="" td=""><td>2,12 ±0,02 (4/4)</td><td>1863 ±44 (6/6)</td></lod></td></lod>	120 ±6 (6/6)	9,76 ±0,13 (6/6)	<lod (0="" 6)<="" td=""><td>2,12 ±0,02 (4/4)</td><td>1863 ±44 (6/6)</td></lod>	2,12 ±0,02 (4/4)	1863 ±44 (6/6)
27092	130 ±9	5,0 ±0,1	$33,9\pm0,5$	$3,36 \pm 0,07$	0,9 ±0,2	2,11 ±0,06	529 ±18
2709a	142 ±17 (62/62)	5 ±0,4 (2/62)	44 ±5 (66/66)	3,21 ±0,02 (66/66)	7 (1/66)	1,94 ±0,03 (62/62)	488 ±20 (66/66)
2710a	23 ±6	8,25 ±0,11	3420 ± 50	$4,32 \pm 0,08$	9,88 ±0,21	2,17 ±0,13	2140 ±60
2710a	21 ±3 (36/58)	9 ±1 (4/58)	3710 ±37 (60/60)	5,13 ±0,04 (60/60)	22 ±5 (55/60)	2,12 ±0,03 (58/58)	2265 ±45 (60/60)
27110	52,3 ±2,9	6,7 ±0,2	140 ± 2	$2,82 \pm 0,04$	7,42 ±0,18	2,53 ±0,10	675 ±18
2711a	48 ±4 (59/59)	<lod (0="" 59)<="" td=""><td>141 ±5 (61/61)</td><td>2,55 ±0,02 (61/61)</td><td>9 ±1 (26/61)</td><td>2,45 ±0,05 (59/59)</td><td>580 ±26 (61/61)</td></lod>	141 ±5 (61/61)	2,55 ±0,02 (61/61)	9 ±1 (26/61)	2,45 ±0,05 (59/59)	580 ±26 (61/61)
2780	44	13	215,5 ±7,8	$2,78\pm 0,08$	$0,710 \pm 0,042$	3,38 ±0,26	462 ±21
2780	51 ±3 (2/2)	14 ±1 (2/2)	206 ±4 (4/4)	2,83 ±0,03 (4/4)	6 (1/4)	3,51 ±0,01 (2/2)	507 ±28 (4/4)
2791	202 ±9		627,4±13,5	$2,80\pm 0,10$	3,64 ±0,25	$0,49 \pm 0,03$	
2781	304 ±5 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>745 ±19 (4/4)</td><td>3,77 ±0,09 (4/4)</td><td>3 (1/4)</td><td>0,82 ±0,02 (2/2)</td><td>810 ±28 (4/4)</td></lod>	745 ±19 (4/4)	3,77 ±0,09 (4/4)	3 (1/4)	0,82 ±0,02 (2/2)	810 ±28 (4/4)
2801.84			404000 ± 4000	5,78		0,42	372
2091-04	95 ±11 (2/2)	45 ±0,2 (2/2)	1247050 ±4910 (2/2)	32,75 ±0,05 (2/2)	1730 ±18 (2/2)	0,42 ±0,004 (2/2)	2099 ±190 (2/2)
2020 84			3900 ± 100	$13,84 \pm 0,13$		$0,34 \pm 0,02$	3180 ±80
5050-84	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>14 ±1 (2/2)</td><td>3619 ±38 (2/2)</td><td>18,29 ±0,02 (2/2)</td><td>14 ±2 (2/2)</td><td>0,46 ±0,01 (2/2)</td><td>3943 ±82 (2/2)</td></lod>	14 ±1 (2/2)	3619 ±38 (2/2)	18,29 ±0,02 (2/2)	14 ±2 (2/2)	0,46 ±0,01 (2/2)	3943 ±82 (2/2)
2504.96			41600 ± 500	32,70		0,10	108
3394-80	159 ±1 (2/2)	49 ±4 (2/2)	48125 ±261 (2/2)	58,48 ±0,30 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>0,06 ±0,01 (2/2)</td><td>4623 ±112 (2/2)</td></lod>	0,06 ±0,01 (2/2)	4623 ±112 (2/2)
2506.96			131000 ± 3000	14,08		0,03	101
3390-80	396 ±4 (2/2)	24 (1/2)	178799 ±378 (2/2)	24,56 ±0,08 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>0,02 ±0,002 (2/2)</td><td>8095 ±221 (2/2)</td></lod>	0,02 ±0,002 (2/2)	8095 ±221 (2/2)
7194.05	105 ±8		14 ±2	$3,75 \pm 0,06$		1,57 ±0,04	730 ±50
/184-95	81 ±1 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>17 ±2 (2/2)</td><td>3,53 ±0,005 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>1,77 ±0,01 (2/2)</td><td>601 ±7 (2/2)</td></lod></td></lod>	17 ±2 (2/2)	3,53 ±0,005 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>1,77 ±0,01 (2/2)</td><td>601 ±7 (2/2)</td></lod>	1,77 ±0,01 (2/2)	601 ±7 (2/2)
702 76			47000 ± 800	42,4	1,4 ±0,4		
/93-/6	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>32 ±0,04 (2/2)</td><td>32 ±0,04 (2/2)</td><td>91,88 ±0,05 (2/2)</td><td>162 ±27 (2/2)</td><td>0,06 ±0,00004 (2/2)</td><td>533 ±19 (2/2)</td></lod>	32 ±0,04 (2/2)	32 ±0,04 (2/2)	91,88 ±0,05 (2/2)	162 ±27 (2/2)	0,06 ±0,00004 (2/2)	533 ±19 (2/2)
8007 2002	32 ±5		47	1,77 ±0,05		1,01 ±0,04	325 ± 20
8097-2002	27 ±1 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>51 ±3 (2/2)</td><td>1,61 ±0,004 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>1,15 ±0,0007 (2/2)</td><td>241 ±2 (2/2)</td></lod></td></lod>	51 ±3 (2/2)	1,61 ±0,004 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>1,15 ±0,0007 (2/2)</td><td>241 ±2 (2/2)</td></lod>	1,15 ±0,0007 (2/2)	241 ±2 (2/2)
9499 2002			470 ± 60	26,22		$0,87 \pm 0,03$	132
8488-2003	927 ±2 (2/2)	24 ±6 (2/2)	24 ±6 (2/2)	43,46 ±0,23 (4/4)	24 ±4 (3/4)	0,91 ±0,01 (2/2)	306 ±30 (4/4)
9770 2006			8800 ± 400	0,66 ±0,04		$0,40 \pm 0,02$	279 ±16
8779-2006	365 ±14 (2/2)	59 ±5 (2/2)	59 ±5 (2/2)	1,11 ±0,01 (4/4)	139 ±32 (4/4)	0,51 ±0,01 (2/2)	4741 ±178 (4/4)
DAM UI10	230 ±13		263 ± 12	2,82 ±0,07	51,5 ±4,1	$2,04 \pm 0,46$	621 ±20
BAM-0110	270 ±8 (57/57)	<lod (0="" 57)<="" td=""><td>263 ±6 (59/59)</td><td>2,7 ±0,02 (59/59)</td><td>36 ±3 (59/59)</td><td>2,12 ±0,03 (57/57)</td><td>562 ±19 (59/59)</td></lod>	263 ±6 (59/59)	2,7 ±0,02 (59/59)	36 ±3 (59/59)	2,12 ±0,03 (57/57)	562 ±19 (59/59)
ODEAS 22h			8,9 ±1,1				
OREAS 220	49 ±29 (13/61)	<lod (0="" 61)<="" td=""><td>10 ±2 (14/61)</td><td>0,38 ±0,01 (61/61)</td><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0,01 ±0,00003 (2/61)</td><td>47 ±7 (17/61)</td></lod></td></lod>	10 ±2 (14/61)	0,38 ±0,01 (61/61)	<lod (0="" 61)<="" td=""><td>0,01 ±0,00003 (2/61)</td><td>47 ±7 (17/61)</td></lod>	0,01 ±0,00003 (2/61)	47 ±7 (17/61)
ODEAS 501	96	12	2710 ± 80	4,48	<0,1	3,16	542
OREAS JUI	84 ±7 (53/53)	6 ±0,4 (2/53)	2568 ±26 (53/53)	4,49 ±0,04 (53/53)	<lod (0="" 53)<="" td=""><td>2,98 ±0,05 (53/53)</td><td>566 ±23 (53/53)</td></lod>	2,98 ±0,05 (53/53)	566 ±23 (53/53)
ODEAS 502	90	9,6	7550 ± 200	5,67	<0,1	3,07	620
OKEAS 502	59 ±7 (53/53)	5 (1/53)	7343 ±69 (53/53)	6,20 ±0,05 (53/53)	11 ±2 (2/53)	2,86 ±0,05 (53/53)	618 ±29 (53/53)
ODEAS 502	87	8,6	5660 ± 150	5,88	<0,1	3,07	620
OREAS 505	54 ±9 (53/53)	<lod (0="" 53)<="" td=""><td>5454 ±57 (53/53)</td><td>6,51 ±0,06 (53/53)</td><td><lod (0="" 53)<="" td=""><td>2,87 ±0,07 (53/53)</td><td>619 ±24 (53/53)</td></lod></td></lod>	5454 ±57 (53/53)	6,51 ±0,06 (53/53)	<lod (0="" 53)<="" td=""><td>2,87 ±0,07 (53/53)</td><td>619 ±24 (53/53)</td></lod>	2,87 ±0,07 (53/53)	619 ±24 (53/53)
ODEAS 504	60	2,3	11370 ± 320	8,11	<0,1	2,91	620
	5 ±4 (2/2)	8 (1/2)	11118±176 (2/2)	10,29±0,08 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>2,76 ±0,04 (2/2)</td><td>713 ±34 (2/2)</td></lod>	2,76 ±0,04 (2/2)	713 ±34 (2/2)
	500 ± 100						
KUKA	426 ±10 (56/56)	8±0,4 (2/56)	61 ±4 (58/58)	5,67 ±0,05 (58/58)	<lod (0="" 58)<="" td=""><td>2,03 ±0,02 (56/56)</td><td>1035 ±38 (58/58)</td></lod>	2,03 ±0,02 (56/56)	1035 ±38 (58/58)
	53	12	237	3,97		2,70	490
I ILL-4	25 ±6 (53/60)	8 ±2 (2/60)	8 ±2 (2/60)	3,96 ±0,04 (62/62)	12 (1/62)	2,61 ±0,08 (60/60)	474 ±21 (62/62)

Приложение 1 (продолжение)

Стандарт	Mo, г/т (Soil)	Nb, г/т (Mining)	Ni, г/т (Soil)	P, % (Mining)	Рb, г/т (Soil)	Rb, г/т (Soil)	S, % (Soil)
2020 70					2600 ± 100		30,4
2029-19	61 ±1 (2/2)	8 ±1 (2/2)	106 ±5 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>2653 ±36 (2/2)</td><td>24 ±1 (2/2)</td><td>27,82 ±0,38 (2/2)</td></lod>	2653 ±36 (2/2)	24 ±1 (2/2)	27,82 ±0,38 (2/2)
2702	$10,8\pm 1,6$	63	75,4 ±1,5	$0,16 \pm 0,01$	$132,8\pm 1,1$	127,7 ±8,8	1,50
2702	11 ±1 (6/6)	62 ±3 (4/4)	31 ±9 (6/6)	0,22 ±0,01 (4/4)	131 ±6 (6/6)	128 ±5 (6/6)	1,45 ±0,02 (4/4)
2700.			85 ±2	$0,07 \pm 0,001$	17,3 ±0,1	99 ±3	
2709a	4 ±1 (61/66)	10 ±0,3 (5/5)	80 ±9 (66/66)	0,16 ±0,04 (5/5)	15 ±2 (66/66)	88 ±1 (66/66)	0,05 ±0,01 (18/62)
2710			8 ±1	$0,11 \pm 0,004$	5520 ± 30	117 ±3	
2/10a	12 ±1 (60/60)	15 ±1 (5/5)	17 ±11 (7/60)	0,06 ±0,01 (4/5)	5833 ±48 (60/60)	117 ±2 (60/60)	1,6 ±0,05 (58/58)
2711			21,7 ±0,7	$0,08 \pm 0,001$	1400 ± 10	120 ±3	
2/11a	5 ±1 (61/61)	20 ±0,4 (5/5)	20 ±6 (17/61)	0,08 ±0,01 (4/5)	1441 ±11 (61/61)	116 ±2 (61/61)	0,14 ±0,02 (59/59)
2790	11	18	12	$0,04 \pm 0,004$	5770 ±410	175	1,26 ±0,04
2780	13 ±1 (4/4)	17 ±0,2 (4/4)	15 ±14 (4/4)	0,15 ±0,01 (4/4)	5543 ±29 (4/4)	183 ±2 (4/4)	1,84 ±0,03 (2/2)
0701	46,7 ±3,2		80,2 ±2,3	2,42 ±0,09	202,1 ±6,5		
2781	38 ±0,5 (4/4)	49 ±0,4 (4/4)	37 ±11 (4/4)	2,50 ±0,03 (4/4)	216 ±6 (4/4)	20 ±1 (4/4)	2,85 ±0,05 (2/2)
2001.04				0,02	22500 ± 800		15,98
2891-84	50 ±4 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>26280 ±297 (2/2)</td><td>59 ±1 (2/2)</td><td>13,09 ±0,004 (2/2)</td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>26280 ±297 (2/2)</td><td>59 ±1 (2/2)</td><td>13,09 ±0,004 (2/2)</td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>26280 ±297 (2/2)</td><td>59 ±1 (2/2)</td><td>13,09 ±0,004 (2/2)</td></lod>	26280 ±297 (2/2)	59 ±1 (2/2)	13,09 ±0,004 (2/2)
2020.01	3800 ± 100			$0,07 \pm 0,005$		· · · · · ·	$2,04 \pm 0,02$
3030-84	3669 ±12 (2/2)	$15 \pm 1 (2/2)$	58 ±32 (2/2)	$0,21 \pm 0,003 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>17 ±0,4 (2/2)</td><td>$2,55 \pm 0,12$ (2/2)</td></lod>	17 ±0,4 (2/2)	$2,55 \pm 0,12$ (2/2)
			. ,	0,01	3400 ±200		41,07
3594-86	$59 \pm 1 (2/2)$	$15 \pm 0.1 (2/2)$	492 ±11 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>3450 ±81 (2/2)</td><td>$25 \pm 1 (2/2)$</td><td>$37.75 \pm 0.56 (2/2)$</td></lod>	3450 ±81 (2/2)	$25 \pm 1 (2/2)$	$37.75 \pm 0.56 (2/2)$
				0,01	5600 ±200		$26,10\pm0,30$
3596-86	$53 \pm 1 (2/2)$	$14 \pm 3 (2/2)$	$622 \pm 37 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>5684 ±111 (2/2)</td><td>$24 \pm 3(2/2)$</td><td>$19.7 \pm 0.34 (2/2)$</td></lod>	5684 ±111 (2/2)	$24 \pm 3(2/2)$	$19.7 \pm 0.34 (2/2)$
	1.9	57 ±7	40 ± 6	0.07 ± 0.003	16 ± 3	47 ±5	
7184-95	$3 \pm 0.2 (2/2)$	$58 \pm 1(2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$0.08 \pm 0.002 (2/2)$</td><td>$11 \pm 0.3 (2/2)$</td><td>$51 \pm 0.3 (2/2)$</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	$0.08 \pm 0.002 (2/2)$	$11 \pm 0.3 (2/2)$	$51 \pm 0.3 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
				•,••• •,••= (=.=)	280 ± 50		49.2
793-76	$42 \pm 0.4 (2/2)$	5 (1/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><LOD (0/2)</td><td>$367 \pm 11 (2/2)$</td><td>$31 \pm 4(2/2)$</td><td>$41.77 \pm 0.22(2/2)$</td></lod>	<LOD (0/2)	$367 \pm 11 (2/2)$	$31 \pm 4(2/2)$	$41.77 \pm 0.22(2/2)$
	10	8	20 ± 3	0.10 ± 0.01	26 ± 2	41 ±2	,
8097-2002	$4 \pm 0.2 (2/2)$	$6 \pm 1 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$0.13 \pm 0.0008 (2/2)$</td><td>$24 \pm 0.4 (2/2)$</td><td>$38 \pm 0.3 (2/2)$</td><td>$0.10 \pm 0.01 (2/2)$</td></lod>	$0.13 \pm 0.0008 (2/2)$	$24 \pm 0.4 (2/2)$	$38 \pm 0.3 (2/2)$	$0.10 \pm 0.01 (2/2)$
	,= (=,=)	· · · (-/-)	120	0.27	3760 ± 160		28.46
8488-2003	$11 \pm 1 (4/4)$	$9 \pm 1 (4/4)$	$179 \pm 40 (4/4)$	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>$3789 \pm 46 (4/4)$</td><td>$37 \pm 1(4/4)$</td><td>$23.94 \pm 0.002 (2/2)$</td></lod>	$3789 \pm 46 (4/4)$	$37 \pm 1(4/4)$	$23.94 \pm 0.002 (2/2)$
	140 ± 10		15 ±4	0.02 ± 0.003	33900 ± 600		7.96
8779-2006	$166 \pm 4 (4/4)$	$15 \pm 2.(4/4)$	$489 \pm 57 (4/4)$	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>$29398 \pm 187 (4/4)$</td><td>$42 \pm 5(4/4)$</td><td>$650\pm013(2/2)$</td></lod>	$29398 \pm 187 (4/4)$	$42 \pm 5(4/4)$	$650\pm013(2/2)$
	2.56	12 (11)	101 ± 5	0.36 ± 0.005	197 ± 14	90.2	1.06
BAM-U110	6+1(59/59)	16+1(5/5)	95 + 9(59/59)	$0.32 \pm 0.04(5/5)$	191 +4 (59/59)	$92 \pm 1(59/59)$	$1.43 \pm 0.04(57/57)$
	49+03	10 -1 (0,0)	5	0,02 = 0,01 (0/0)	<	<u> </u>	1,15 = 0,01 (01107)
OREAS 22b	5+1(61/61)	<lod (0="" 1)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 1)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0.01 (1/61)</td></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 1)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0.01 (1/61)</td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 1)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0.01 (1/61)</td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>0.01 (1/61)</td></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""><td>0.01 (1/61)</td></lod>	0.01 (1/61)
	592+21	19	<u>(10)</u> (0, 01)	0.10	29	156	0.36 +0.02
OREAS 501	61 + 1(53/53)	20 (1/1)	31 + 8(42/53)	0.04 (1/1)	22 + 2(53/53)	187 + 2(53/53)	$0.34 \pm 0.03(53/53)$
	274 +12 5	16	51 ±0 (12/35)	0.10	22 = 2 (35/33)	145	0.92 ± 0.04
OREAS 502	$271 \pm 3(53/53)$	19 (1/1)	30+10(29/53)	<i (0="" 1)<="" od="" td=""><td>25 + 2(53/53)</td><td>157 + 2(53/53)</td><td>$0.92 \pm 0.05 (53/53)$</td></i>	25 + 2(53/53)	157 + 2(53/53)	$0.92 \pm 0.05 (53/53)$
	390 ± 18.9	15 (1/1)	53	0.10	20 = 2 (35/33)	120	0,72 ±0,03 (35/33)
OREAS 503	$381 \pm 4(53/53)$	17 (1/1)	32 + 9(23/53)	<i (0="" 1)<="" od="" td=""><td>18 + 2(53/53)</td><td>144 + 2(53/53)</td><td>0.70 ± 0.04 (53/53)</td></i>	18 + 2(53/53)	144 + 2(53/53)	0.70 ± 0.04 (53/53)
	643 + 371	68	$32 \pm 7(25755)$	<u>(LOD (0/1)</u>	$10 \pm 2 (33/33)$	69	1 37 +0.05
OREAS 504	$617 \pm 9(2/2)$	0,0	27 + 23 (2/2)		16+2(2/2)	$67 \pm 0.2 (2/2)$	$1,37 \pm 0,03$ $1,14 \pm 0,03,(2/2)$
	$017 \pm 9(2/2)$		$27 \pm 23 (272)$		500 ± 100	07 ±0,2 (2/2)	$1,17\pm0,03(2/2)$
RCRA	1 + 1 (12/58)	$16 \pm 2(5/5)$	61+12 (58/58)	$\sim I OD (0/5)$	500 ± 100 $5/11 \pm 8(58/58)$	88 + 2 (58/58)	$0.06 \pm 0.004 (10/56)$
	+ ±1 (43/38)	$10 \pm 2(5/3)$	17		50	161	0,00 ±0,004 (10/30)
TILL-4	10 + 1 (62/62)	13 18 +1 (5/5)	$\frac{1}{26+5(\lambda 2/62)}$	$0.10 \pm 0.05 (5/5)$	52 +2 (62/62)	161 + 2(62/62)	$0.06 \pm 0.01 (21/60)$
1	$17 \pm 1(02/02)$	$10 \pm 1(3/3)$	$20 \pm 3(\pm 2/02)$	$0,17\pm0,05(5/5)$	$32 \pm 2(02/02)$	$101 \pm 2(02/02)$	$0,00\pm0,01(51/00)$

Приложение 1(продолжение)

Стандарт	Sb, г/т (Soil)	Sc, г/т (Soil)	Se, г/т (Soil)	Si, % (Mining)	Sn, г/т (Soil)	Sr, г/т (Soil)	Te, г/т (Soil)
2020 70	411 ±13		48 ±3				31 ±2
2029-19	539 ±7 (2/2)	11 (1/2)	56 ±2 (2/2)	13,13 ±0,08 (2/2)	30 ±6 (2/2)	275 ±5 (2/2)	89 ±5 (2/2)
2702	5,60 ±0,24	25,9 ±1,1	$4,95 \pm 0,46$		31,6 ±2,4	119,7 ±3,0	
2702	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>3 ±0,2 (2/4)</td><td><lod (0="" 6)<="" td=""><td>30,57 ±0,07 (4/4)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td>114 ±5 (6/6)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	3 ±0,2 (2/4)	<lod (0="" 6)<="" td=""><td>30,57 ±0,07 (4/4)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td>114 ±5 (6/6)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod>	30,57 ±0,07 (4/4)	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>114 ±5 (6/6)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""></lod></td></lod>	114 ±5 (6/6)	<lod (0="" 4)<="" td=""></lod>
2700	1,55 ±0,06	11,1 ±0,1	1,5	$30,30 \pm 0,40$		239 ±6	
2709a	<lod (0="" 62)<="" td=""><td>10 ±1 (4/62)</td><td><lod (0="" 66)<="" td=""><td>32,15 ±4,35 (5/5)</td><td><lod (0="" 62)<="" td=""><td>225 ±2 (66/66)</td><td>15 (1/62)</td></lod></td></lod></td></lod>	10 ±1 (4/62)	<lod (0="" 66)<="" td=""><td>32,15 ±4,35 (5/5)</td><td><lod (0="" 62)<="" td=""><td>225 ±2 (66/66)</td><td>15 (1/62)</td></lod></td></lod>	32,15 ±4,35 (5/5)	<lod (0="" 62)<="" td=""><td>225 ±2 (66/66)</td><td>15 (1/62)</td></lod>	225 ±2 (66/66)	15 (1/62)
0710	52,5 ±1,6	9,9 ±0,1	1	31,10 ±0,40		255 ±7	
2710a	50 ±4 (58/58)	6 ±1 (4/58)	<lod (0="" 60)<="" td=""><td>32,84 ±4,18 (5/5)</td><td>14 ±2 (27/58)</td><td>254 ±2 (60/60)</td><td>21 ±3 (53/58)</td></lod>	32,84 ±4,18 (5/5)	14 ±2 (27/58)	254 ±2 (60/60)	21 ±3 (53/58)
0711	23,8 ±1,4	8,5 ±0,1	2	31,40 ±0,70		242 ± 10	
2711a	20 ±4 (59/59)	12 ±3 (4/59)	<lod (0="" 61)<="" td=""><td>34,59 ±4,45 (5/5)</td><td>8 (1/59)</td><td>228 ±2 (61/61)</td><td>13 (1/59)</td></lod>	34,59 ±4,45 (5/5)	8 (1/59)	228 ±2 (61/61)	13 (1/59)
	160	23	5	31,00		217 ±18	5
2780	166 ±4 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td>35,94 ±0,17 (4/4)</td><td>$16 \pm 1 (2/2)$</td><td>233 ±1 (4/4)</td><td>23 ±4 (2/2)</td></lod></td></lod>	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>35,94 ±0,17 (4/4)</td><td>$16 \pm 1 (2/2)$</td><td>233 ±1 (4/4)</td><td>23 ±4 (2/2)</td></lod>	35,94 ±0,17 (4/4)	$16 \pm 1 (2/2)$	233 ±1 (4/4)	23 ±4 (2/2)
		. ,	16.0 ± 1.6	5,10 ±0,20	、 / ·	、 / ·	
2781	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$42 \pm 4(2/2)$</td><td>$9\pm0.3(4/4)$</td><td>6,76 ±0,14 (4/4)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>234 ± 1 (4/4)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod>	$42 \pm 4(2/2)$	$9\pm0.3(4/4)$	6,76 ±0,14 (4/4)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>234 ± 1 (4/4)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	234 ± 1 (4/4)	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	. ,	, ()	10.16	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
2891-84	$73 \pm 13 (2/2)$	$5\pm 2(2/2)$	$170 \pm 5 (2/2)$	$14.21 \pm 0.13 (2/2)$	$72 \pm 11 (2/2)$	$25 \pm 9(2/2)$	$92 \pm 7 (2/2)$
				19.78 ± 0.12	, (_, _,	(_,_)	/ (-/-)
3030-84	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$53 \pm 4(2/2)$</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>$23.63 \pm 0.01.(2/2)$</td><td>$88 \pm 4(2/2)$</td><td>2.52 ± 1 (2/2)</td><td>$21 \pm 1 (2/2)$</td></lod></td></lod>	$53 \pm 4(2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$23.63 \pm 0.01.(2/2)$</td><td>$88 \pm 4(2/2)$</td><td>2.52 ± 1 (2/2)</td><td>$21 \pm 1 (2/2)$</td></lod>	$23.63 \pm 0.01.(2/2)$	$88 \pm 4(2/2)$	2.52 ± 1 (2/2)	$21 \pm 1 (2/2)$
			50.9 ± 6	0.46			2104 ± 130
3594-86	329 + 11(2/2)	< LOD(0/2)	78 + 5(2/2)	$0.52 \pm 0.03(2/2)$	100 ± 0.4 (2/2)	1384 + 14(2/2)	241 + 31 (2/2)
	525 = 11(2,2)		10 =5 (212)	1 31	100 =0,1 (2/2)	1501 - 11(272)	211 - 51 (2/2)
3596-86	1424 + 40(2/2)	< I OD (0/2)	31 (1/2)	1,31 1 70 +0 12 (2/2)	46 (1/2)	3437 + 2(2/2)	< I OD (0/2)
	$1121 \pm 10(2/2)$	12	51 (1/2)	27.81 ± 0.14	40 (1/2)	390+50	
7184-95	<i (0="" 2)<="" od="" td=""><td>$13 \pm 4(2/2)$</td><td>< I OD (0/2)</td><td>$27,01\pm0,14$ $32,72\pm0.06(2/2)$</td><td>-1.0D(0/2)</td><td>385 + 3(2/2)</td><td>< I OD (0/2)</td></i>	$13 \pm 4(2/2)$	< I OD (0/2)	$27,01\pm0,14$ $32,72\pm0.06(2/2)$	-1.0D(0/2)	385 + 3(2/2)	< I OD (0/2)
	25 +4	$15 \pm 7(2/2)$	(0/2)	$52,72\pm0,00(272)$		$505 \pm 5(272)$	(100 (0/2))
793-76	64 + 6(2/2)	< I OD (0/2)	35+5(2/2)	$0.49 \pm 0.03(2/2)$	54 + 3(2/2)	26 + 3(2/2)	$119 \pm 6(2/2)$
	$04 \pm 0 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$55 \pm 5(2/2)$</td><td>38.90 ± 0.06</td><td>$J \neq \pm J(2/2)$</td><td>$20 \pm 3(2/2)$ 92 +11</td><td>$117 \pm 0(2/2)$</td></lod>	$55 \pm 5(2/2)$	38.90 ± 0.06	$J \neq \pm J(2/2)$	$20 \pm 3(2/2)$ 92 +11	$117 \pm 0(2/2)$
8097-2002	< I OD (0/2)	5+01(2/2)	< I OD (0/2)	$46.55 \pm 0.11(2/2)$	-LOD (0/2)	92 ± 11 80 ±0 3 (2/2)	< I OD (0/2)
	$\langle LOD(0/2) \rangle$	$5 \pm 0, 1 (2/2)$	$\langle LOD(0/2) \rangle$	16.09	$\langle LOD(0/2) \rangle$	$07\pm0,5(2/2)$	$\langle LOD(0/2) \rangle$
8488-2003	$197 \pm 10(2/2)$	< I OD (0/2)	<i (0="" 4)<="" od="" td=""><td>$22.87 \pm 0.16 (A/A)$</td><td>37 + 6(2/2)</td><td>9+1(A/A)</td><td>11 + 1(2/2)</td></i>	$22.87 \pm 0.16 (A/A)$	37 + 6(2/2)	9+1(A/A)	11 + 1(2/2)
	$197 \pm 10(2/2)$	$\langle LOD(0/2) \rangle$	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>22,87 ±0,10 (4/4)</td><td>$37 \pm 0(272)$</td><td>9 - 1 (4/4)</td><td>$41 \pm 4(2/2)$</td></lod>	22,87 ±0,10 (4/4)	$37 \pm 0(272)$	9 - 1 (4/4)	$41 \pm 4(2/2)$
8779-2006	$4033 \pm 78(2/2)$	< I OD (0/2)	16 + 3(1/1)	21,0	36 (1/2)	$2300 \pm 10(4/4)$	$48 \pm 11(2/2)$
	$4033 \pm 78 (272)$	$\langle LOD(0/2) \rangle$	40 ±3 (4/4)	25 81	10.0	$2300 \pm 10(4/4)$	$40 \pm 11(2/2)$
BAM-U110	4,20	22 ± 1 (2/57)	<i (0="" 50)<="" od="" td=""><td>25,01 27 20 +3 37 (5/5)</td><td><i (0="" 57)<="" od="" td=""><td>$270,0\pm11,00$ $273\pm2(50/50)$</td><td><i (0="" 57)<="" od="" td=""></i></td></i></td></i>	25,01 27 20 +3 37 (5/5)	<i (0="" 57)<="" od="" td=""><td>$270,0\pm11,00$ $273\pm2(50/50)$</td><td><i (0="" 57)<="" od="" td=""></i></td></i>	$270,0\pm11,00$ $273\pm2(50/50)$	<i (0="" 57)<="" od="" td=""></i>
	<lod (0="" 37)<="" td=""><td>$22 \pm 1 (2/37)$</td><td>$\langle \text{LOD}(0/3) \rangle$</td><td>$27,20\pm 5,57(575)$</td><td>$(0.6 \pm 0.2)$</td><td>$273 \pm 2(373)$</td><td>$\langle LOD(0/37) \rangle$</td></lod>	$22 \pm 1 (2/37)$	$\langle \text{LOD}(0/3) \rangle$	$27,20\pm 5,57(575)$	(0.6 ± 0.2)	$273 \pm 2(373)$	$\langle LOD(0/37) \rangle$
OREAS 22b	<i (0="" 61)<="" od="" td=""><td><i (0="" 61)<="" od="" td=""><td><i (0="" 61)<="" od="" td=""><td>50.37 (1/1)</td><td>$(0,0\pm0,2)$</td><td>$1 \pm 0 1 (2/61)$</td><td><i (0="" 61)<="" od="" td=""></i></td></i></td></i></td></i>	<i (0="" 61)<="" od="" td=""><td><i (0="" 61)<="" od="" td=""><td>50.37 (1/1)</td><td>$(0,0\pm0,2)$</td><td>$1 \pm 0 1 (2/61)$</td><td><i (0="" 61)<="" od="" td=""></i></td></i></td></i>	<i (0="" 61)<="" od="" td=""><td>50.37 (1/1)</td><td>$(0,0\pm0,2)$</td><td>$1 \pm 0 1 (2/61)$</td><td><i (0="" 61)<="" od="" td=""></i></td></i>	50.37 (1/1)	$(0,0\pm0,2)$	$1 \pm 0 1 (2/61)$	<i (0="" 61)<="" od="" td=""></i>
	<lod (0="" 01)<="" td=""><td><lod (0="" 01)<="" td=""><td></td><td>28.08</td><td><lod (0="" 01)<="" td=""><td>1 ±0,1 (3/01)</td><td><lod (0="" 01)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 01)<="" td=""><td></td><td>28.08</td><td><lod (0="" 01)<="" td=""><td>1 ±0,1 (3/01)</td><td><lod (0="" 01)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod>		28.08	<lod (0="" 01)<="" td=""><td>1 ±0,1 (3/01)</td><td><lod (0="" 01)<="" td=""></lod></td></lod>	1 ±0,1 (3/01)	<lod (0="" 01)<="" td=""></lod>
OREAS 501	(I OD (0/52)	$14 \pm 1(2/52)$	<i (0="" 52)<="" od="" td=""><td>26,90</td><td>0 (1/52)</td><td>$219 \pm 2(52/52)$</td><td>$19 \pm 1 (4/52)$</td></i>	26,90	0 (1/52)	$219 \pm 2(52/52)$	$19 \pm 1 (4/52)$
	<lod (0="" 33)<="" td=""><td>$14 \pm 1(2/33)$</td><td><lod (0="" 33)<="" td=""><td>20,17 (1/1)</td><td>9 (1/33)</td><td>$310 \pm 2(33/33)$</td><td>$10 \pm 1(4/33)$</td></lod></td></lod>	$14 \pm 1(2/33)$	<lod (0="" 33)<="" td=""><td>20,17 (1/1)</td><td>9 (1/33)</td><td>$310 \pm 2(33/33)$</td><td>$10 \pm 1(4/33)$</td></lod>	20,17 (1/1)	9 (1/33)	$310 \pm 2(33/33)$	$10 \pm 1(4/33)$
OREAS 502	(1,0) (0,52)	14	/,2	26,03	11 + 5 (2/52)	252 + 4 (52/52)	19 + 2 (5/52)
	<lod (0="" 33)<="" td=""><td>$14 \pm 4(2/33)$</td><td><lod (0="" 33)<="" td=""><td>24,95 (1/1)</td><td>$11 \pm 3(2/33)$</td><td>332 ±4 (33/33)</td><td>$18 \pm 2(3/33)$</td></lod></td></lod>	$14 \pm 4(2/33)$	<lod (0="" 33)<="" td=""><td>24,95 (1/1)</td><td>$11 \pm 3(2/33)$</td><td>332 ±4 (33/33)</td><td>$18 \pm 2(3/33)$</td></lod>	24,95 (1/1)	$11 \pm 3(2/33)$	332 ±4 (33/33)	$18 \pm 2(3/33)$
OREAS 503	U,/	11 + 1 (2/52)	4,/	28,05	7 (1/52)	392	<0,3
	<lod (0="" 33)<="" td=""><td>$11 \pm 1 (2/33)$</td><td><lod (0="" 33)<="" td=""><td>25,65 (1/1)</td><td>/ (1/33)</td><td>$370 \pm 4(33/33)$</td><td>$17 \pm 1(2/33)$</td></lod></td></lod>	$11 \pm 1 (2/33)$	<lod (0="" 33)<="" td=""><td>25,65 (1/1)</td><td>/ (1/33)</td><td>$370 \pm 4(33/33)$</td><td>$17 \pm 1(2/33)$</td></lod>	25,65 (1/1)	/ (1/33)	$370 \pm 4(33/33)$	$17 \pm 1(2/33)$
OREAS 504		15 + 2 (2/2)	9,8	25,/1		474 + 0.5 (2/2)	
	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$15 \pm 2(2/2)$</td><td>$6 \pm 0,4 (2/2)$</td><td></td><td>$10\pm0,1(2/2)$</td><td>$4/4 \pm 0.5 (2/2)$</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	$15 \pm 2(2/2)$	$6 \pm 0,4 (2/2)$		$10\pm0,1(2/2)$	$4/4 \pm 0.5 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
RCRA	10 10 (0/50)	10 10 (2/20)	500 ± 100		16-12 (12/20)	107 10 (50/50)	17-10 (10/50)
	$18 \pm 2(3/56)$	$18 \pm 2(2/56)$	$496 \pm 3(58/58)$	$42,09\pm5,75(5/5)$	$16 \pm 2(13/56)$	$18/\pm 2(58/58)$	$1/\pm 2(12/56)$
TILL-4	1,0	10		30,38	14 1 (10/00)	117 + 2 ((2)((2)	16-10-(16/60)
	<lod (0="" 60)<="" td=""><td>$5\pm 2(2/60)$</td><td><lod (0="" 62)<="" td=""><td>34,43 ±4,88 (5/5)</td><td>$14 \pm 1 (42/60)$</td><td>$117 \pm 2(62/62)$</td><td>$16 \pm 2(16/60)$</td></lod></td></lod>	$5\pm 2(2/60)$	<lod (0="" 62)<="" td=""><td>34,43 ±4,88 (5/5)</td><td>$14 \pm 1 (42/60)$</td><td>$117 \pm 2(62/62)$</td><td>$16 \pm 2(16/60)$</td></lod>	34,43 ±4,88 (5/5)	$14 \pm 1 (42/60)$	$117 \pm 2(62/62)$	$16 \pm 2(16/60)$

Приложение 1 (продолжение)

Стандарт	Th, г/т (Soil)	Ti, % (Soil)	U, г/т (Soil)	V, г/т (Soil)	W, г/т (Soil)	Zn, г/т (Soil)	Zr, г/т (Soil)
2020 70						19300 ± 400	
2029-19	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>0,03 ±0,001 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>27234 ±105 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	0,03 ±0,001 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>27234 ±105 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>27234 ±105 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>27234 ±105 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	27234 ±105 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
2702	20,51 ±0,96	$0,88\pm0,08$	10,4	357,6±9,2	6,2	485,3 ±4,2	
2702	12 ±1 (6/6)	0,96 ±0,01 (4/4)	5 ±1 (3/6)	354 ±17 (4/4)	<lod (0="" 6)<="" td=""><td>476 ±4 (6/6)</td><td>332 ±25 (6/6)</td></lod>	476 ±4 (6/6)	332 ±25 (6/6)
2700.	10,9 ±0,2	$0,34 \pm 0,01$	3,15 ±0,05	110 ± 11		103 ±4	195 ±46
2709a	9 ±1 (66/66)	0,36 ±0,01 (62/62)	4 ±1 (10/66)	105 ±8 (62/62)	<lod (0="" 66)<="" td=""><td>84 ±4 (66/66)</td><td>169 ±9 (66/66)</td></lod>	84 ±4 (66/66)	169 ±9 (66/66)
2710	18,1 ±0,3	$0,31 \pm 0,01$	9,11 ±0,30	82 ±9	190	4180 ± 150	200
2/10a	48 ±17 (58/60)	0,29 ±0,01 (58/58)	8 ±1 (31/60)	82 ±8 (58/58)	169 ±37 (60/60)	4547 ±150 (60/60)	250 ±12 (60/60)
2711	15 ±1	$0,32 \pm 0,01$	3,01 ±0,12	80,7 ±5,7		414 ±11	
2/11a	18 ±4 (60/61)	0,31 ±0,01 (59/59)	5 ±1 (12/61)	72 ±7 (59/59)	<lod (0="" 61)<="" td=""><td>376 ±14 (61/61)</td><td>308 ±11 (61/61)</td></lod>	376 ±14 (61/61)	308 ±11 (61/61)
2790	12	$0,70 \pm 0,02$	4	268 ±13	24	2570 ± 160	176
2780	51 ±15 (4/4)	0,67 ±0,01 (2/2)	7 ±1 (4/4)	237 ±16 (2/2)	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>2502 ±46 (4/4)</td><td>183 ±4 (4/4)</td></lod>	2502 ±46 (4/4)	183 ±4 (4/4)
0701		$0,32 \pm 0,03$				1273 ±53	
2/81	22 ±1 (4/4)	0,52 ±0,001 (2/2)	24 ±0,4 (4/4)	140 ±15 (2/2)	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>1596 ±40 (4/4)</td><td>308 ±1 (4/4)</td></lod>	1596 ±40 (4/4)	308 ±1 (4/4)
2001.04		0,17				28900 ± 400	
2891-84	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>0,13 ±0,003 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>46 ±2 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>99114±194 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	0,13 ±0,003 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>46 ±2 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>99114±194 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod>	46 ±2 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>99114±194 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	99114±194 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
2020.04		0,32 ±0,01					
3030-84	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>0,21 ±0,00004 (2/2)</td><td>6 ±1 (2/2)</td><td>61 ±6 (2/2)</td><td>59 ±13 (2/2)</td><td>194 ±18 (2/2)</td><td>130 ±0,2 (2/2)</td></lod>	0,21 ±0,00004 (2/2)	6 ±1 (2/2)	61 ±6 (2/2)	59 ±13 (2/2)	194 ±18 (2/2)	130 ±0,2 (2/2)
2504.04		0,02				22500 ± 500	
3594-86	31 ±5 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>620 ±46 (2/2)</td><td>30338 ±248 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>620 ±46 (2/2)</td><td>30338 ±248 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>620 ±46 (2/2)</td><td>30338 ±248 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	620 ±46 (2/2)	30338 ±248 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
2506.06		0,02			× ,	12200 ± 300	
3596-86	97 ±5 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$36 \pm 7 (2/2)$</td><td>273 ±21 (2/2)</td><td>3599 ±449 (2/2)</td><td>18038 ±157 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	$36 \pm 7 (2/2)$	273 ±21 (2/2)	3599 ±449 (2/2)	18038 ±157 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
		$0,53 \pm 0,02$		99 ±11	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	49 ±6	330 ±30
7184-95	2 (1/2)	$0,53 \pm 0,0005 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>95 ±4 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>$33 \pm 3(2/2)$</td><td>343 ±0,5 (2/2)</td></lod></td></lod>	95 ±4 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$33 \pm 3(2/2)$</td><td>343 ±0,5 (2/2)</td></lod>	$33 \pm 3(2/2)$	343 ±0,5 (2/2)
				× /		13200 ±400	
793-76	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>$0,01 \pm 0,0001 (2/2)$</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>19075 ±15 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	$0,01 \pm 0,0001 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>19075 ±15 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>19075 ±15 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>19075 ±15 (2/2)</td><td><lod (0="" 2)<="" td=""></lod></td></lod>	19075 ±15 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""></lod>
		$0,19\pm 0,02$		32	× ,	100	260 ±20
8097-2002	$3\pm0,1(2/2)$	0,21 ±0,0004 (2/2)	$2\pm0.03(2/2)$	$31 \pm 1 (2/2)$	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>98 ±1 (2/2)</td><td>297 ±2 (2/2)</td></lod>	98 ±1 (2/2)	297 ±2 (2/2)
		0,06 ±0,01		× /		3350 ±220	
8488-2003	<lod (0="" 4)<="" td=""><td>$0,04 \pm 0,002 (2/2)$</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>48 (1/4)</td><td>3984 ±17 (4/4)</td><td>7 ±1 (4/4)</td></lod></td></lod></td></lod>	$0,04 \pm 0,002 (2/2)$	<lod (0="" 4)<="" td=""><td><lod (0="" 2)<="" td=""><td>48 (1/4)</td><td>3984 ±17 (4/4)</td><td>7 ±1 (4/4)</td></lod></td></lod>	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>48 (1/4)</td><td>3984 ±17 (4/4)</td><td>7 ±1 (4/4)</td></lod>	48 (1/4)	3984 ±17 (4/4)	7 ±1 (4/4)
		$0,04 \pm 0,002$	i			62400 ±800	
8779-2006	229 ±46 (4/4)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>19 ±8 (4/4)</td><td>212 ±34 (2/2)</td><td>380 ±254 (2/4)</td><td>110194 ±422 (4/4)</td><td><lod (0="" 4)<="" td=""></lod></td></lod>	19 ±8 (4/4)	212 ±34 (2/2)	380 ±254 (2/4)	110194 ±422 (4/4)	<lod (0="" 4)<="" td=""></lod>
	17,4	0,32 ±0,04	8,0	67,80 ±7,981	× /	1000 ±50	260
BAM-UII0	10 ±1 (59/59)	0,34 ±0,01 (57/57)	7 ±1 (34/59)	67 ±8 (57/57)	<lod (0="" 59)<="" td=""><td>935 ±29 (59/59)</td><td>306 ±7 (59/59)</td></lod>	935 ±29 (59/59)	306 ±7 (59/59)
	$0,6\pm 0,1$		0,1		<0,2	10 ±2	
OREAS 220	<lod (0="" 61)<="" td=""><td>0,04 ±0,002 (61/61)</td><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>6 ±1 (5/61)</td><td>22 ±1 (61/61)</td></lod></td></lod></td></lod></td></lod>	0,04 ±0,002 (61/61)	<lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>6 ±1 (5/61)</td><td>22 ±1 (61/61)</td></lod></td></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""><td><lod (0="" 61)<="" td=""><td>6 ±1 (5/61)</td><td>22 ±1 (61/61)</td></lod></td></lod>	<lod (0="" 61)<="" td=""><td>6 ±1 (5/61)</td><td>22 ±1 (61/61)</td></lod>	6 ±1 (5/61)	22 ±1 (61/61)
	16	0,47	4,6	119	3,6	102	84
OREAS 501	17 ±2 (53/53)	0,43 ±0,01 (53/53)	8 ±1 (2/53)	115 ±8 (53/53)	29 ±23 (3/53)	59 ±4 (53/53)	268 ±7 (53/53)
	14	0,44	3,8	135	3,4	121	82
OREAS 502	15 ±2 (53/53)	0,40 ±0,01 (53/53)	8 ±0,3 (2/53)	121 ±10 (53/53)	53 ±22 (15/53)	77 ±7 (53/53)	219 ±6 (53/53)
0000 4 0 500	12	0,44	3,4	147	3,1	97	79
OREAS 503	12 ±2 (53/53)	0,39 ±0,01 (53/53)	4 (1/53)	126 ±11 (53/53)	48 ±12 (11/53)	54 ±5 (53/53)	194 ±6 (53/53)
	4,1	0,35	1,2	186	2,8	113	55
OREAS 504	4 (1/2)	0,31 ±0,003 (2/2)	<lod (0="" 2)<="" td=""><td>142 ±7 (2/2)</td><td>16 (1/2)</td><td>47 ±18 (2/2)</td><td>96 ±4 (2/2)</td></lod>	142 ±7 (2/2)	16 (1/2)	47 ±18 (2/2)	96 ±4 (2/2)
RCRA	10 ±2 (58/58)	0,45 ±0,01 (56/56)	4 ±1 (5/58)	122 ±8 (56/56)	<lod (0="" 58)<="" td=""><td>58 ±4 (58/58)</td><td>247 ±10 (58/58)</td></lod>	58 ±4 (58/58)	247 ±10 (58/58)
	17,4	0,48	5,0	67	204	70	385
TILL-4	41 ±2 (62/62)	0,47 ±0,02 (60/60)	6 ±2 (5/62)	83 ±9 (60/60)	197 ±14 (62/62)	51 ±4 (62/62)	397 ±12 (62/62)











Приложение 3 (продолжение)

Нумерация зон иерархическая: например, ядерная зона 1-2-3 является третьей во внешней зоне 1, переходной зоне 1-2; S, κm^2 — площадь; C_{cp}, г/т — среднее содержание (<LOD — ниже предела обнаружения), P, m^2 % — площадная продуктивность и q, $\tau/m/\kappa m^2$ — удельная продуктивность элемента; в геохимической ассоциации приведены элементы (кроме макроэлементов) с K_C \geq 2.

			Cu			Mo			Au			
Зона	S , км ²	C _{cp} ,	P,	q,	C _{cp} ,	Р,	q,	C _{cp} ,	Р,	q,	Геохимическая ассоциация	
		г/т	M ² %	$T/M/KM^2$	г/т	$M^2\%$	$T/M/KM^2$	г/т	$M^2\%$	$T/M/KM^2$		
	Юряхская ПЭС											
1	2,19	190	20043	228	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,012</td><td>1,5</td><td>0,02</td><td>$Au_4As_3Cu_3Se_3$</td></lod<>	-	-	0,012	1,5	0,02	$Au_4As_3Cu_3Se_3$	
1-1	0,35	321	7690	546	0,6	-	-	0,031	0,9	0,06	$Au_{10}Cu_5Se_3As_3Ba_3S_3V_2$	
1-1-1	0,19	744	12823	1695	3,4	59	7,7	0,042	0,7	0,10	$Au_{14}Cu_{11}Mo_5As_3Se_3Ba_3V_2$	
1-2	2,32	351	58009	625	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,025</td><td>4,5</td><td>0,05</td><td>$Au_8Cu_5As_3Se_2Ba_2V_2Mn_2$</td></lod<>	-	-	0,025	4,5	0,05	$Au_8Cu_5As_3Se_2Ba_2V_2Mn_2$	
1-2-1	0,10	621	5799	1482	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,069</td><td>0,7</td><td>0,18</td><td>$Au_{23}Cu_9As_4Ba_3Se_3Mn_2V_2$</td></lod<>	-	-	0,069	0,7	0,18	$Au_{23}Cu_9As_4Ba_3Se_3Mn_2V_2$	
1-2-2	0,70	713	44748	1599	2,8	185	6,6	0,049	3,2	0,12	$Au_{16}Cu_{10}Mo_4As_4Se_3Pb_3Ba_2V_2$	
1-2-3	0,15	703	9515	1540	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,114</td><td>1,7</td><td>0,27</td><td>$Au_{38}Cu_{10}As_4Mn_3Pb_3V_2Ba_2Zn_2$</td></lod<>	-	-	0,114	1,7	0,27	$Au_{38}Cu_{10}As_4Mn_3Pb_3V_2Ba_2Zn_2$	
1-2-4	0,21	788	15467	1827	2,6	51	6,0	0,042	0,8	0,10	$Au_{14}Cu_{11}As_3Mo_3Se_3S_2V_2$	
1-2-5	0,12	634	7065	1503	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,025</td><td>0,3</td><td>0,06</td><td>$Cu_9Au_8As_4Se_3Mn_3Cr_2V_2$</td></lod<>	-	-	0,025	0,3	0,06	$Cu_9Au_8As_4Se_3Mn_3Cr_2V_2$	
1-2-6	0,13	587	6473	1223	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,021</td><td>0,2</td><td>0,04</td><td>$Cu_9Au_7As_3Mn_2Cr_2V_2$</td></lod<>	-	-	0,021	0,2	0,04	$Cu_9Au_7As_3Mn_2Cr_2V_2$	
1-3	0,23	375	6575	715	1,0	20	2,2	0,035	0,7	0,07	$Au_{12}Cu_5Se_5As_4S_2$	
1-4	0,08	451	2863	852	2,5	17	5,1	0,010	0,1	0,02	$Cu_7Se_4Au_3As_3Mo_3$	
2	1,23	186	8574	174	0,6	I	-	0,012	0,7	0,01	$Au_4As_4Se_3Cu_3$	
2-1	0,60	373	15943	669	1,7	83	3,5	0,027	1,3	0,05	Au ₉ Cu ₅ Se ₃ As ₃ Mo ₂	
2-1-1	0,60	833	44706	1860	1,3	68	2,8	0,028	1,4	0,06	$Cu_{12}Au_9Se_3As_3$	
							ПЭС	С Топь				
3	3,37	90	6343	47	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,004</td><td>0,4</td><td>0,003</td><td>Cr₂</td></lod<>	-	-	0,004	0,4	0,003	Cr ₂	
3-1	0,22	138	1486	172	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,011</td><td>0,2</td><td>0,02</td><td>$Au_4Cr_3As_2Cu_2$</td></lod<>	-	-	0,011	0,2	0,02	$Au_4Cr_3As_2Cu_2$	
3-2	0,10	153	795	190	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,004</td><td>0,01</td><td>0,003</td><td>$Mn_3Zn_2Cu_2Cr_2$</td></lod<>	-	-	0,004	0,01	0,003	$Mn_3Zn_2Cu_2Cr_2$	
							Егдыгкы	чская П	ЭС			
4	10,22	176	88777	217	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,004</td><td>1,4</td><td>0,003</td><td>Cu₃</td></lod<>	-	-	0,004	1,4	0,003	Cu ₃	

1	7	0
		_

			Cu			Мо			Au		
Зона	S, км ²	C _{cp} ,	P,	q, 2	C _{cp} ,	P,	q, 2	C _{cp} ,	P,	q, 2	Геохимическая ассоциация
	0.07	Г/Т	M ² %	Т/М/КМ ²	Г/Т	M ² %	T/M/KM ²	Г/Т	M ² %	Т/М/КМ ²	
4-1	0,87	337	23032	662	2,9	236	6,8	0,005	0,2	0,004	Cu ₅ Mo ₄
4-1-1	0,39	624	21106	1363	2,1	71	4,6	0,005	0,1	0,01	Cu ₉ Mo ₃
4-2	0,30	346	7766	655	1,4	35	3,0	0,013	0,3	0,02	$Pb_{11}Cu_5Au_4Zn_2$
4-2-1	0,15	743	10778	1824	4,9	72	12,2	0,011	0,1	0,02	$Pb_{17}Cu_{11}Mo_7Au_4Zn_3Cd_2$
4-3	1,54	341	37522	607	5,1	689	11,2	0,013	1,4	0,02	Pb7M07Cu5Au4
4-3-1	0,09	827	7576	2117	11,8	111	30,9	0,273	2,7	0,75	$Au_{91}Mo_{16}Cu_{12}Pb_4As_3Mn_2Zn_2$
4-3-2	0,22	803	16154	1872	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,006</td><td>0,1</td><td>0,01</td><td>$Cu_{12}Pb_2$</td></lod<>	-	-	0,006	0,1	0,01	$Cu_{12}Pb_2$
4-3-3	0,25	724	18332	1864	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,022</td><td>0,5</td><td>0,05</td><td>$Cu_{10}Au_7Pb_2Cd_2Zn_2$</td></lod<>	-	-	0,022	0,5	0,05	$Cu_{10}Au_7Pb_2Cd_2Zn_2$
4-3-4	0,12	879	11340	2416	1,0	13	2,7	0,003	0,02	0,003	Cu ₁₃
4-4	0,47	416	15258	816	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,005</td><td>0,1</td><td>0,01</td><td>Cu₆Ba₂</td></lod<>	-	-	0,005	0,1	0,01	Cu ₆ Ba ₂
4-4-1	0,13	641	8014	1493	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,003</td><td>-</td><td>-</td><td>Cu₉Zn₃</td></lod<>	-	-	0,003	-	-	Cu ₉ Zn ₃
							Кустово	ская ПЭ	С		
5	12,03	139	104392	217	2,1	367	0,8	0,004	1,5	0,003	$Ag_9Cu_4Ba_3Mn_3Au_2$
5-1	0,32	345	9382	726	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,008</td><td>0,2</td><td>0,01</td><td>$Ag_{46}Cu_{11}Au_4Mn_4V_3As_3Ni_3Ba_3Cd_2Zn_2$</td></lod<>	-	-	0,008	0,2	0,01	$Ag_{46}Cu_{11}Au_4Mn_4V_3As_3Ni_3Ba_3Cd_2Zn_2$
5-2	0,56	256	10793	478	4,7	126	5,6	0,004	0,1	0,004	$Cu_8Ag_4Pb_3Ba_3Mn_2Mo_2Cr_2Ni_2$
5-2-1	0,26	948	23082	2204	13,3	548	52,3	0,015	0,3	0,03	$Cu_{30}Ag_{21}Au_8Mo_7Pb_5As_4Co_3Ni_3Cr_3Mn_3Ba_3Zn_2$
5-2-2	0,05	999	4448	2198	14,1	56	27,4	0,046	0,2	0,10	$Cu_{31}Au_{23}Mo_7Ag_5Ba_3Mn_2Cr_2Ni_2$
5-3	0,24	256	5427	566	3,5	36	3,7	0,004	0,1	0,01	$Cu_8Mn_4Pb_4Ba_3Ag_3Zn_2Au_2$
5-3-1	0,04	1361	5048	3185	6,6	17	11,0	0,017	0,1	0,04	$Cu_{43}Au_8Pb_7Mn_4Zn_4Mo_3Ag_3Co_2$
5-4	0,52	241	10505	509	3,5	75	3,6	0,005	0,1	0,01	$Cu_8Ba_3Mn_3Au_3Pb_2$
5-4-1	0,08	619	5051	1512	3,2	11	3,2	0,025	0,2	0,06	$Cu_{19}Au_{12}Mn_5Zn_3Pb_3Ag_3V_2$
5-4-2	0,08	836	7078	2150	8,9	61	18,5	0,016	0,1	0,04	$Cu_{26}Au_8Pb_7Mo_4Ag_3Zn_3Mn_3Ba_2$
5-4-3	0,03	989	3445	2554	12,0	36	26,6	0,023	0,1	0,05	$Cu_{31}Au_{11}Mo_6Pb_4Ba_3Ag_3Mn_3Zn_2Co_2$
5-5	0,38	233	7364	486	4,6	101	6,6	0,004	0,1	0,004	$Cu_7Ba_4Ag_3Mo_2As_2$
5-5-1	0,17	673	10252	1522	10,7	140	20,8	0,010	0,1	0,02	$Cu_{21}Mo_5Au_5Ag_5Pb_3Mn_2Ba_2Co_2$
5-6	0,63	237	12960	517	6,0	257	10,2	0,004	0,1	0,01	$Cu_7Ba_4Mo_3Mn_3Ag_3Au_2$

1	7	1
_		_

			Cu			Mo			Au		
Зона	S, км ²	C _{cp} ,	P,	q, 2	C _{cp} ,	P,	q, 2	C _{cp} ,	P,	q,2	Геохимическая ассоциация
		Г/Т	M ² %	T/M/KM ²	Г/Т	M ² %	T/M/KM ²	г/т	M ² %	T/M/KM ²	
5-6-1	0,04	666	1902	1287	13,0	33	22,4	0,003	0,003	0,002	$Cu_{21}Mo_6Ba_6Ag_3Mn_3Co_2$
5-6-2	0,04	483	1804	1092	10,0	32	19,4	0,018	0,1	0,04	$Cu_{15}Au_{9}Mo_{5}Ba_{4}Ag_{4}Co_{3}Mn_{2}$
5-6-3	0,09	1138	9512	2696	38,6	315	89,3	0,035	0,3	0,08	$Cu_{36}Mo_{19}Au_{17}Ag_9Ba_4Mn_3Co_2$
5-7	0,19	251	4936	662	2,9	20	2,7	0,003	0,01	0,002	$Pb_9Cu_8Mn_5Zn_5Ag_5Ba_3V_2$
5-8	0,09	341	2939	783	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,002</td><td>0,004</td><td>0,001</td><td>$Ag_{21}Cu_{11}Mn_6Sn_4As_4Ni_4V_4Zn_3Cd_2Ba_2$</td></lod<>	-	-	0,002	0,004	0,001	$Ag_{21}Cu_{11}Mn_6Sn_4As_4Ni_4V_4Zn_3Cd_2Ba_2$
5-8-1	0,05	532	2251	1112	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,004</td><td>0,01</td><td>0,004</td><td>$Cu_{17}Mn_5As_5Sn_4Zn_4Ni_4V_4Cr_3$</td></lod<>	-	-	0,004	0,01	0,004	$Cu_{17}Mn_5As_5Sn_4Zn_4Ni_4V_4Cr_3$
5-9	0,44	284	11596	662	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,003</td><td>0,03</td><td>0,002</td><td>$Cu_9Ag_8Ni_5Sn_4As_4Mn_4Ba_4V_4Cd_3Cr_2$</td></lod<>	-	-	0,003	0,03	0,002	$Cu_9Ag_8Ni_5Sn_4As_4Mn_4Ba_4V_4Cd_3Cr_2$
5-9-1	0,12	731	8388	1732	1,1	-	-	0,005	0,04	0,01	$Ag_{42}Cu_23Ni_7As_5Sn_4V_4Ba_4Cr_4Mn_3Au_3Cd_2$
						Запа	аднопесча	нкинск	ая ПЭС	l ,	
6	11,79	118	59008	125	1,1	-	-	0,011	8,7	0,02	Au_5Cu_2
7	3,28	93	11584	88	2,1	218	1,7	0,003	0,3	0,002	Cu_2Cr_2
8	6,59	94	21740	83	1,9	295	1,1	0,002	0,2	0,001	Ag_2Cu_2
]	Песчанки	нская Г	IЭC		
9	23,18	98	70857	76	1,7	1826	2,0	0,006	8,3	0,01	Ag ₃ Au ₃
9-1	0,16	368	4958	783	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,009</td><td>0,1</td><td>0,02</td><td>$Cu_6Au_4As_2V_2$</td></lod<>	-	-	0,009	0,1	0,02	$Cu_6Au_4As_2V_2$
9-2	0,68	230	10154	371	1,3	-	-	0,022	1,2	0,04	$Au_{11}Pb_6Cu_4Zn_3As_2$
9-2-1	0,19	910	15337	1981	4,5	63	8,2	0,056	1,0	0,13	$Au_{28}Cu_{16}Pb_5As_3Zn_3Mo_3$
9-2-2	0,05	530	2362	1263	2,4	8	4,5	0,044	0,2	0,11	Au22Cu9Pb8As5Zn3
9-2-3	0,05	1003	6277	3176	2,9	9	4,4	0,049	0,3	0,17	$Au_{24}Cu_{17}Pb_9Ag_5Zn_4$
9-3	0,96	312	20237	529	10,4	762	19,9	0,017	1,3	0,03	$Au_9Mo_7Pb_6Cu_5Ag_3Zn_2Bi_2$
9-3-1	0,87	1666	139912	4026	21,7	1752	50,4	0,047	3,9	0,11	$Cu_{29}Au_{24}Mo_{14}Pb_7As_5Ag_5Zn_2$
9-3-2	0,14	1011	14289	2642	20,4	283	52,2	0,078	1,1	0,21	$Au_{39}Cu_{17}Mo_{13}Pb_{12}Ag_3Zn_2As_2$
9-3-3	1,21	3824	448763	9296	87,0	10219	211,7	0,150	17,7	0,37	$Au_{75}Cu_{66}Mo_{56}Pb_{18}Ag_{9}As_{4}Zn_{4}Mn_{3}$
9-4	0,15	365	4295	726	3,0	21	3,6	0,007	0,1	0,01	Bi ₉ Cu ₆ Au ₄ Co ₃
9-5	0,18	455	6356	892	3,6	36	5,0	0,040	0,6	0,08	$Au_{20}Cu_8Mo_2$
9-6	0,13	60	83	16	1,5	-	-	0,249	2,5	0,46	$Au_{124}Ag_5Pb_4Co_2Zn_2$

1	7	2
1	1	7

			Cu			Mo			Au		
Зона	S, км ²	C _{cp} ,	P,	q, 2	C _{cp} ,	P,	q, 2	C _{cp} ,	P,	q, 2	Геохимическая ассоциация
		Г/Т	M ² %	T/M/KM ²	Г/Т	M ² %	T/M/KM ²	Γ/Τ	M ² %	T/M/KM ²	
9-6-1	0,09	87	329	94	1,5	-	-	0,330	3,3	0,94	$Au_{165}Bi_9Co_5Ba_2Pb_2$
9-7	0,38	151	3036	199	4,5	95	6,2	0,008	0,2	0,01	Au ₄ Ag ₄ Pb ₃ Mo ₃ Cu ₃
9-7-1	0,06	600	3252	1445	4,3	17	7,4	0,048	0,3	0,12	$Au_{24}Cu_{10}Ag_8Mo_3$
9-7-2	0,10	450	4704	1127	3,0	18	4,2	0,096	1,1	0,27	$Au_{48}Cu_8Pb_4Ag_4$
9-8	0,59	275	11971	505	7,4	366	15,5	0,009	0,4	0,02	$Pb_{15}Mo_5Cu_5Au_4Ag_4Zn_4As_3$
9-8-1	0,14	546	7074	1220	19,8	265	45,7	0,011	0,1	0,02	$Mo_{13}Cu_9Pb_8Au_6Ag_4As_3Zn_2$
9-8-2	0,17	901	13906	2047	8,3	111	16,3	0,012	0,2	0,02	$Pb_{16}Cu_{16}Au_6As_6Ag_6Mo_5Zn_4Mn_2$
10	3,37	92	12786	95	1,2	-	-	0,003	0,2	0,001	Ag ₉ W ₅ Bi ₃
							Таллахо	ская ПЭ	С		
11	8,88	125	68202	192	1,6	472	1,3	0,009	5,5	0,02	Au ₅ Cu ₃ Pb ₃
11-1	0,16	524	6766	1083	1,0	-	-	0,005	0,04	0,01	$Cu_{13}Pb_4Au_2$
11-2	0,61	327	16568	678	4,6	210	8,6	0,078	4,4	0,18	Au ₃₉ Cu ₈ Mo ₅ Pb ₂ Ni ₂
11-3	0,40	204	5230	330	2,4	44	2,8	0,017	0,5	0,03	Au ₈ Cu ₅ Mo ₂
11-3-1	0,28	108	2046	185	1,0	-	-	0,330	9,8	0,89	$Au_{165}Cu_3$
11-4	0,53	278	13272	624	1,4	22	1,0	0,005	0,2	0,01	Cu ₇ Au ₂
11-4-1	0,17	505	6502	985	1,4	6	0,9	0,004	0,03	0,005	$Cu_{12}Mn_2Au_2$
11-4-2	0,25	516	10454	1047	1,0	-	-	0,005	0,1	0,01	$Cu_{13}Au_2Pb_2$
12	6,69	91	30201	113	2,0	553	2,1	0,006	2,1	0,01	$Pb_9Au_3Cu_2Zn_2Mo_2$
12-1	0,15	28	-	-	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,022</td><td>0,3</td><td>0,05</td><td>$Au_{11}Ni_3Ba_2Pb_2$</td></lod<>	-	-	0,022	0,3	0,05	$Au_{11}Ni_3Ba_2Pb_2$
12-1-1	0,11	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>5,5</td><td>49</td><td>11,6</td><td>0,160</td><td>1,6</td><td>0,37</td><td>$Au_{80}Mo_6Ni_4Ba_3Pb_2$</td></lod<>	-	-	5,5	49	11,6	0,160	1,6	0,37	$Au_{80}Mo_6Ni_4Ba_3Pb_2$
12-2	0,49	297	11826	598	5,9	224	11,3	0,010	0,4	0,02	Pb ₂₁ Cu ₇ Mo ₆ Au ₅ Zn ₄ Cd ₃ As ₂ Ag ₂
12-3	0,38	245	6590	432	3,9	94	6,2	0,012	0,3	0,02	$Pb_{12}Au_6Cu_6Mo_4Ag_3Cd_2$
12-3-1	0,39	813	32430	2070	8,8	326	20,8	0,021	0,8	0,05	$Cu_{20}Pb_{18}Au_{11}Mo_9Ag_3Cd_3S_3Pd_2$
12-4	0,34	272	5548	408	1,5	12	0,9	0,010	0,2	0,01	Pb33Cu7Au5Zn5Mn3Ag3Cd2
12-4-1	0,17	907	13860	2074	1,0	-	-	0,048	0,7	0,11	$A\overline{u_{24}}Cu_{22}Pb_{10}Mn_5Zn_3Ba_2As_2$
12-4-2	0,39	1160	44766	2852	1,7	26	1,7	0,053	2,0	0,13	$\overline{Cu_{28}Au_{27}Pb_{16}Zn_3Ag_2Mn_2}$

1	7	2
	1	1
	'	\mathcal{I}

			Cu			Мо			Au		
Зона	S, км ²	C _{cp} ,	P,	q, 2	C _{cp} ,	P,	q, 2	C _{cp} ,	P,	q, 2	Геохимическая ассоциация
10.5	0.06	Г/Т	M ² %	T/M/KM ²	Г/Т	M ² %	T/M/KM ²	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $		T/M/KM ²	
12-5	0,26	300	6328	618	3,7	64	6,2	0,130	3,1	0,30	$Au_{65}Cu_7Mo_4Pb_3$
13	7,02	55	16888	60	1,4	228	0,8	0,014	7,4	0,03	Au ₇ Pb ₃ Ni ₂
13-1	1,27	184	18124	356	3,8	348	6,8	0,070	8,6	0,17	$Au_{35}Cu_4Mo_4Ni_3Pb_2$
13-1-1	0,58	341	16194	693	4,6	192	8,2	0,183	9,8	0,42	Au92Cu8Mo5Ni3
13-2	0,38	77	1708	111	1,3	12	0,8	0,106	3,9	0,26	$Au_{53}Ni_4Mn_2$
13-4	0,52	354	15706	759	4,4	170	8,2	0,022	1,0	0,05	$Au_{11}Cu_9Pb_8Mo_4As_4Ni_3Zn_2$
						Находки	нская П	ЭС			
14	30,39	80	97252	80	2,1	I	-	0,017	24,3	0,02	$As_5Au_4Mn_4Zn_3Pb_3Cu_2$
14-1	0,18	112	1385	195	2,4	-	-	0,009	0,009 0,1 0,01		Cu ₃ Au ₂
14-1-1	0,10	1177	15044	3940	9,6	146	38,3	0,089	0,089 1,2 0,31		$Cu_{35}Au_{22}Mo_4$
14-2	0,99	371	32673	828	6,9	500	12,7	0,021	1,6	0,04	$Cu_{11}Au_5Mo_3As_2$
14-2-1	1,27	1099	136853	2701	20,7	2372	46,8	0,050	5,9	0,12	$Cu_{32}Au_{12}Mo_8As_3Ba_2$
14-3	0,46	215	6878	375	16,0	465	25,3	0,035	1,5	0,08	$As_9Au_9Mo_6Cu_6Pb_6Ba_2$
14-3-1	0,63	503	27431	1092	62,1	3489	138,8	0,087	4,9	0,19	$Mo_{25}Au_{22}Cu_{15}As_6Pb_5Ba_2$
14-5	2,16	162	24423	282	2,3	-	-	0,115 21,1		0,24	$Au_{29}Pb_{24}Zn_{14}Mn_{13}As_8Cu_5Ba_3$
14-5-1	0,24	237	4976	515	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td colspan="2">0,235 5,7</td><td>0,59</td><td>$Au_{59}Pb_{28}Zn_{20}Mn_{14}As_9Cu_7Ba_3S_2$</td></lod<>	-	-	0,235 5,7		0,59	$Au_{59}Pb_{28}Zn_{20}Mn_{14}As_9Cu_7Ba_3S_2$
14-5-2	0,71	138	7352	259	2,1	-	-	0,318	22,2	0,78	$Au_{80}Pb_{31}Zn_{16}Mn_{15}As_9Cu_4Ba_3$
14-5-4	0,53	196	8469	398	7,9	339	15,9	0,382	19,7	0,92	$Au_{96}Pb_{39}Mn_{23}Zn_{17}As_{15}Cu_6Ba_4Mo_3Cr_2$
14-6	0,21	356	6444	757	9,7	144	16,9	0,093	1,8	0,21	$Au_{23}As_{23}Pb_{20}Mn_{11}Cu_{10}Zn_8Mo_4$
14-7	1,25	304	29168	583	9,1	800	16,0	0,040	3,9	0,08	$Au_{10}Cu_9As_5Mn_4Mo_4Pb_4Zn_3Ba_3Cr_2$
14-7-1	0,04	708	3034	1921	22,9	92	58,2	0,038	0,2	0,10	$Cu_{21}Au_9Mo_9As_4Ba_3Mn_2$
14-7-2	0,76	1176	86829	2867	27,8	1930	63,7	0,087	6,3	0,21	$Cu_{35}Au_{22}Mo_{11}As_7Ba_3$
14-7-3	0,05	135	604	314	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>0,169</td><td>1,0</td><td>0,52</td><td>$Au_{42}As_6Cu_4Ba_3S_3Pb_2Fe_2Cr_2Zn_2$</td></lod<>	-	-	0,169	1,0	0,52	$Au_{42}As_6Cu_4Ba_3S_3Pb_2Fe_2Cr_2Zn_2$
14-7-4	0,10	227	2027	496	1,3	_	-	0,198	2,0 0,50		$Au_{49}Pb_{16}As_7Cu_7Zn_5Ba_3S_3Mn_3Fe_2Cr_2$
14-7-5	0,26	396	9045	873	45,3	1070	103,3	0,060	1,4	0,14	Mo ₁₈ Au ₁₅ Cu ₁₂ As ₁₁ Ba ₃
14-7-6	0,05	213	896	452	1,7	-	-	0,117	0,6	0,29	$\overline{Au_{29}As_7Cu_6Mn_6Zn_5Pb_5Ba_4Cr_3Fe_2}$

			Cu			Mo			Au							
Зона	S, κm^2	C _{cp} ,	P,	q,	C _{cp} ,	C_{cp} , P , q , C_{cp} , P , q , q , r/r		q,	Геохимическая ассоциация							
		г/т	M ² %	$T/M/KM^2$	г/т	M ² %	т/м/км ²	г/т	$\Gamma/T = M^2\% = T/M/KM^2$							
14-8	0,41	264	7377	447	12,0	321	19,4	0,034	1,0	0,06	$Au_9Cu_8As_6Mn_6Pb_5Mo_5Zn_4Ba_3Cr_3$					
14-8-1	1,04	742	70759	1704	67,1	6461	155,6	0,050	50 4,6 0,11		$Mo_{27}Cu_{22}Au_{12}As_9Pb_5Mn_4Zn_3Ba_3Cr_2$					
14-9	0,61	260	10541	434	6,9	226	9,3	0,039	2,2	0,09	$As_{12}Au_{10}Cu_8Mn_6Zn_3Mo_3Cr_3$					
14-9-1	0,07	1092	6880	2577	19,3	110 41,4		0,035	5 0,2 0,08		$Cu_{32}As_{12}Au_9Mo_8Mn_8Zn_2Cr_2$					
14-9-2	0,33	482	14356	1086	7,4	180	13,6	0,194 6,1 0,46 Au ₄		0,46	$Au_{48}As_{38}Cu_{14}Mn_6Pb_5Zn_4Mo_3Fe_2$					
15	5,67	66	17970	79	1,3	-	-	0,006	1,6	0,01	As_9Mn_3					
15-1	0,35	49	836	59	4,1	71	5,0	0,061	2,0	0,14	$As_{43}Mn_{22}Au_{15}Zn_4S_3Ba_3$					
16	9,28	99	61526	166	<lod< td=""><td colspan="2">)</td><td>0,007</td><td>4,5</td><td>0,01</td><td>As₄Cu₃Mn₃</td></lod<>)		0,007	4,5	0,01	As ₄ Cu ₃ Mn ₃					
16-1	0,17	89	1076	163	<lod< td=""><td>-</td><td colspan="2"></td><td>2,9</td><td>0,43</td><td>$Au_{41}As_7Mn_5Cu_3$</td></lod<>	-			2,9	0,43	$Au_{41}As_7Mn_5Cu_3$					
16-2	0,10	67	332	83	3,2	16	4,0	0,342	3,4	0,85	Au ₈₆ As ₃₅ Mn ₃					
16-3	0,14	379	3454	616	4,0	19	3,4	0,004	-	-	$Cu_{11}Mn_3Fe_2$					
16-4	0,08	554	3118	1008	3,7	8	2,6	0,037 0,2 0,06		0,06	Cu ₁₆ Au ₉ Zn ₅ Pb ₅ Mn ₄ As ₃ Ba ₂ Fe ₂					
							Светлин	ская ПЗ	ЭC							
17	6,10	118	47028	193	1,2	116	0,5	0,002	0,1	0,0003	Cu ₃					
18	1,82	109	12184	168	1,1	16	0,2	0,002	0,002 0,03 0,0005		Ni ₃ Cu ₃					
19	11,22	73	29714	66	2,0	822	1,8	0,005	2,7	0,01	$Pb_8As_4Mn_3Zn_2Au_2Ni_2$					
19-1	0,13	272	2543	475	5,3	47	8,8	0,007	0,1	0,01	$Pb_{16}Cu_7Mo_5As_4Zn_4Au_4Mn_3Ni_2S_2$					
19-1-1	0,10	984	9434	2367	5,9	49	12,3	0,033	0,3	0,08	$Cu_{24}Au_{17}Pb_8Mo_6S_5As_3Zn_3Mn_2$					
19-2	0,35	38	-	-	1,0	-	-	0,097	3,1	0,22	Au ₄₉ Pb ₁₉ Zn ₇ As ₆					
19-2-1	0,07	<lod< td=""><td>-</td><td>-</td><td>1,8</td><td>6</td><td>2,2</td><td>0,263</td><td>2,1</td><td>0,76</td><td>$Au_{131}Pb_{11}As_4Zn_3$</td></lod<>	-	-	1,8	6	2,2	0,263	2,1	0,76	$Au_{131}Pb_{11}As_4Zn_3$					
19-3	0,25	107	1514	153	5,7	104	10,5	0,085	1,8	0,18	$Au_{42}Pb_{21}As_{11}Mo_6Zn_4S_3Sb_3Ni_3Mn_3Cu_3$					
							Омчакс	кая ПЭ	С							
20	9,14	62	18790	51	1,7	518	1,4	0,004	1,4	0,004	Ni ₈ Cr ₃ Au ₂					
20-1	0,20	435	7874	992	12,2	224	28,2	0,011	0,2	0,02	Mo ₁₂ Cu ₁₁ Au ₆ Ni ₅ Cr ₂					
21	5,90	82	24276	103	1,9	492	2,1	0,005	1,5	0,01	Ni ₁₀ Cr ₄ Au ₂ Zn ₂ Cu ₂					

Приложение 4. К определению коэффициента остаточной продуктивности по канавам месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля

 $\frac{\Pi K_{B}}{\Pi K_{\Pi}}$ – интервалы канавы (пикеты), по которым рассчитывался коэффициент *k* (ПК_в – $\frac{C_{B}}{C_{\Pi}}$ – средневзвешенные концентрации элементов по соответствующим интервалам. – интервалы канавы (пикеты), по которым рассчитывался коэффициент k (ПК_в – интервал по вторичному ореолу, ПК_п – интервал по первичному ореолу (по полотну канавы));

		(Cu		Мо			Au				Ag		As			Sb				Pb		Zn		
Ланд шафт	Канава	<u>ПК</u> ПК _п	$\frac{\underline{C}_{\mathtt{B}}}{C_{\pi}}$	k	<u>ПК_в</u> ПК _п	<u>С</u> в Сп	k	<u>ПК_в</u> ПК _п	$\frac{\underline{C}_{\scriptscriptstyle B}}{C_{\scriptscriptstyle \Pi}}$	k	$\frac{\Pi K_{\scriptscriptstyle B}}{\Pi K_{\scriptscriptstyle \Pi}}$	$\frac{\underline{C}_{\underline{\scriptscriptstyle B}}}{C_{\pi}}$	k	<u>ПК_в</u> ПК _п	<u>С</u> в Сп	k	<u>ПК_в</u> ПК _п	$\frac{\underline{C}_{\underline{B}}}{C_{\pi}}$	k	<u>ПК_в</u> ПК _п	$\frac{\underline{C}_{\mathtt{B}}}{\overline{C}_{\mathtt{\Pi}}}$	k	<u>ПК_в</u> ПК _п	$\frac{\underline{C}_{\mathtt{B}}}{\overline{C}_{\mathtt{\Pi}}}$	k
Медно-порфировое оруденение																									
	KN11-04	<u>280-880</u> 380-880	<u>1503</u> 2639	0,57	<u>280-920</u> 340-900	<u>63</u> 56	1,12	<u>420-880</u> 420-900	<u>0,17</u> 0,12	1,46	<u>340-880</u> 340-880	<u>0,8</u> 1,1	0,73	<u>100-1090</u> 100-1090	<u>91</u> 90	1,01		_			_			_	
	KN11-07	<u>360-720</u> 360-720	<u>918</u> 1641	0,56	<u>440-720</u> 400-720	<u>62</u> 62	1,00	<u>260-660</u> 260-660	<u>0,24</u> 0,23	1,08	<u>280-440</u> 280-420	<u>1,5</u> 1,9	0,78	<u>320-720</u> 320-720	<u>128</u> 156	0,83		_		<u>200-440</u> 200-380	<u>97</u> 74	1,32	<u>200-480</u> 200-400	<u>194</u> 191	1,02
1	КР10-115лх**	<u>0-715</u> 0-720	<u>1104</u> 2310	0,48	<u>200-715</u> 220-680	<u>47</u> 53	0,89	_			-			<u>450-715</u> 460-680	<u>108</u> 152	0,71	_			<u>0-715</u> 0-720	<u>272</u> 140	1,94	<u>0-715</u> 0-720	<u>357</u> 267	1,34
I	КР10-117лх	<u>10-724</u> 0-720	$\frac{1171}{1440}$	0,81		_			_	_				<u>10-724</u> 40-720	<u>49</u> 72	0,68	-						<u>10-210</u> 0-120	<u>217</u> 167	1,30
	КР10-118лх	<u>0-610</u> 0-600	<u>2243</u> 3140	0,71	<u>410-560</u> 400-520	<u>38</u> 37	1,01		_	-									_			<u>0-610</u> 0-610	<u>128</u> 106	1,20	
	КР10-119лх	<u>140-540</u> 140-520	<u>1837</u> 2163	0,85		_		-			_			<u>240-540</u> 260-520	<u>59</u> 63	0,94	-			<u>40-540</u> 60-320	<u>67</u> 47	1,42	<u>40-540</u> 140-520	<u>125</u> 105	1,18
	KN11-09	<u>20-600</u> 120-540	<u>502</u> 800	0,63	<u>20-540</u> 60-540	<u>94</u> 94	1,00	<u>120-540</u> 120-540	<u>0,10</u> 0,12	0,86	<u>0-280</u> 80-280	<u>0,9</u> 1,1	0,77	<u>0-320</u> 160-320	<u>172</u> 149	1,16	<u>0-300</u> 80-300	<u>21,4</u> 13,8	1,55	<u>0-280</u> 20-280	<u>122</u> 94	1,30	<u>0-260</u> 20-280	<u>165</u> 160	1,03
	КР10-106лх	<u>40-620</u> 40-620	<u>3515</u> 4008	0,88	<u>300-620</u> 300-560	<u>304</u> 240	1,26		_			_		<u>40-620</u> 40-620	<u>152</u> 160	0,95	<u>300-620</u> 300-620	<u>61,1</u> 30,6	2,00	<u>40-620</u> 40-620	<u>676</u> 282	2,39	<u>40-620</u> 40-620	<u>323</u> 295	1,10
2	KP10-107	<u>0-640</u> 0-620	2860 3875	0,74	$\frac{0-540}{0-540}$	<u>97</u> 99	0,98	<u>40-640</u> 40-620	<u>0,19</u> 0,18	1,04	<u>300-640</u> 300-620	<u>2,8</u> 3,4	0,81	<u>300-640</u> 300-620	<u>71</u> 75	0,94		_		<u>0-640</u> 0-620	<u>592</u> 235	2,52	<u>0-640</u> 0-620	<u>409</u> 366	1,12
	KP10-108-105	<u>0-640</u> 0-640	<u>3949</u> 4895	0,81	<u>140-640</u> 140-620	<u>93</u> 70	1,33	<u>200-640</u> 140-620	<u>0,24</u> 0,28	0,85	<u>140-640</u> 140-620	<u>1,5</u> 2,2	0,68	<u>340-560</u> 340-460	<u>53</u> 50	1,05	<u>200-500</u> 200-440	<u>22,3</u> 15,5	1,44	<u>0-640</u> 0-620	<u>371</u> 139	2,67	<u>0-640</u> 0-620	<u>185</u> 202	0,91
	КР10-109-110-111лх	<u>100-510</u> 100-480	<u>3222</u> 3993	0,81	<u>100-610</u> 140-540	<u>131</u> 98	1,34		_			_		<u>200-610</u> 200-620	<u>88</u> 134	0,65		_		<u>100-610</u> 140-620	<u>703</u> 361	1,95	<u>100-610</u> 120-620	<u>512</u> 538	0,95
3	KN11-05	<u>0-320</u> 0-260	<u>951</u> 1516	0,63	<u>60-320</u> 40-260	<u>32</u> 29	1,10	<u>0-320</u> 0-260	<u>0,27</u> 0,25	1,06	<u>20-320</u> 20-280	<u>2,2</u> 2,1	1,02	<u>60-340</u> 20-260	<u>183</u> 181	1,01	<u>60-260</u> 20-260	<u>28,4</u> 19,4	1,47		_		<u>0-220</u> 0-160	<u>111</u> 90	1,24
Λ	KN11-07	<u>0-280</u> 0-240	<u>1142</u> 1063	1,07		_		<u>40-200</u> 100-200	<u>0,24</u> 0,21	1,16	<u>0-260</u> 0-240	<u>1,9</u> 1,1	1,76	-	_			_			_		<u>0-80</u> 40-80	<u>178</u> 177	1,01
т	KN11-08	<u>0-120</u> 0-120	<u>1880</u> 1784	1,05	<u>0-120</u> 0-120	<u>121</u> 117	1,03	<u>0-120</u> 0-120	<u>0,26</u> 0,23	1,13	<u>0-120</u> 0-120	<u>2,0</u> 1,2	1,57	<u>0-120</u> 0-120	<u>167</u> 138	1,21		_			_			_	
	1						1	30	лото-се	ребрян	юе эпитер	малы	ioe opy	уденение	1		[·	
1	KN11-10	<u>0-200</u> 0-200	<u>449</u> 507	0,89	<u>80-200</u> 80-180	<u>69</u> 58	1,19	<u>0-200</u> 0-200	<u>0,54</u> 0,21	2,57	<u>120-200</u> 120-200	<u>3,9</u> 3,1	1,28	<u>120-200</u> 120-140	<u>141</u> 99	1,42		_		<u>0-200</u> 0-200	<u>505</u> 320	1,58	<u>0-200</u> 0-200	<u>327</u> 622	0,53
T	KN11-11A	<u>0-480</u> 0-480	<u>281</u> 210	1,33		_		<u>0-480</u> 0-480	<u>0,69</u> 0,59	1,17	<u>0-480</u> 0-480	<u>7,6</u> 6,8	1,12	<u>160-320</u> 220-320	237 203	1,17		_		<u>0-480</u> 0-480	<u>742</u> 472	1,57	<u>0-480</u> 0-480	<u>784</u> 817	0,96
4	KN11-11A	<u>500-600</u> 500-600	<u>418</u> 329	1,27		_		<u>500-600</u> 500-600	<u>1,29</u> 0,87	1,48	<u>500-600</u> 500-600	<u>9,3</u> 9,3	1,00	<u>440-600</u> 440-600	<u>340</u> 207	1,64		_		<u>500-600</u> 500-600	<u>1124</u> 919	1,22	<u>500-600</u> 500-600	<u>1100</u> 1979	0,56

*— канавы сгруппированы по типам ландшафтов низкогорного рельефа лесотундр: 1— нижние части пологих склонов, часто с повышенной обводненностью, 2— нижние части склонов средней крутизны, 3— средние части склонов средней крутизны, 4— крутые осыпные склоны с низкой обводненностью;

** — для канав, помеченных звездочкой, расчеты для характеристики вторичного ореола велись по ближайшим профилям литохимической съемки; для остальных канав проводилось специальное опытно-методическое опробование бортов;

«-»— недостаточно данных для определения коэффициента остаточной продуктивности.