

На правах рукописи



Гарькавенко Светлана Дмитриевна

**ГЕОЛОГИЯ, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ  
И АНАЛИЗ ПЛОТНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГЕРФЕД  
(ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» на кафедре геологии, минералогии и петрографии.

**Научный руководитель:**

доктор геолого-минералогических наук, профессор  
**Сазонов Анатолий Максимович**

**Официальные оппоненты:**

**Гусев Анатолий Иванович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Алтайская государственная академия образования имени В.М. Шукшина», профессор кафедры географии и экологии

**Калинин Юрий Александрович**

доктор геолого-минералогических наук,  
Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева  
Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск), заведующий лабораторией прогнозно-металлогенических исследований.

**Ведущая организация:**

**Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург)**

Защита диссертации состоится 21 мая 2015 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, просп. Ленина, 2 (строение 5), 20-й корпус ТПУ, ауд. 504.

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

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

к. г-м. н., доцент

Жорняк Лина Владимировна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Красноярский край относится к крупным горнопромышленным регионам России. Добыча золота является частью основного источника дохода в регионе, а восполнение минерально-сырьевой базы – наиболее актуальным вопросом. Выполнение геологоразведочных работ основано на рациональном комплексе видов, методов и объемов исследования с максимальной экономической эффективностью.

На месторождении Герфед геологоразведочные работы ЗАО «Васильевский рудник» проводило в 2006-2012 гг. Разведочная сеть составила от 40–60 × 40–60 м до 10–20 × 10–20 м, что соответствует оценке запасов для категории С<sub>1</sub>. Площадь месторождения Герфед в настоящее время разделена на северную и южную части, названные Герфед и Партизанское соответственно. В настоящей диссертационной работе изучалось все месторождение Герфед без выделения частей. Запасы месторождения Герфед по категориям С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> утверждены по временным (Партизанское) и постоянным (Герфед) кондициям в количестве 7,8 и 10 тонн золота соответственно, в том числе балансовых 13,4 тонны. Из общего количества запасов месторождения запасы категории С<sub>1</sub> составили 20 % по южной части (Партизанское) и 40 % по северной части (Герфед) месторождения Герфед.

В настоящее время имеются материалы к обоснованию рационального комплекса разведочных работ для получения подготовленных к отработке запасов. Минимизация себестоимости готовой продукции без утраты ее качества и оптимизация затрат – основные задачи производства. Сокращение затрат на геологоразведочные работы позволит снизить стоимость готовой продукции и увеличить прибыль недропользователя, а перераспределение затрат на проведение работ повысить их качество. Определение наиболее эффективного комплекса геологоразведочных работ будет иметь важное значение как для ЗАО «Васильевский рудник», проводящего геологическое изучение в районе месторождения Герфед, так и для разведки месторождений-аналогов. Характер и условия локализации золота на месторождении Герфед, несмотря на 130-летнюю историю изучения месторождения, не изучен в полной мере. Поэтому анализ имеющегося фактического материала и проведение новых исследований на месторождении Герфед в рамках данной диссертации, позволяют уточнить характер распределения золота, структурные особенности месторождения, условия золоторудной локализации и определить оптимальную сеть для проведения разведочных работ.

**Цель и задачи.** Целью работы является изучение условий локализации рудной минерализации, факторов рудоносности и определение оптимальной плотности разведочной сети месторождения. Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить структуру месторождения, вещественный, химический состав рудных тел и вмещающих пород; генезис и возраст месторождения.
2. Составить объемную геологическую модель месторождения.

3. Провести комплексный анализ системы разведочных работ и оценить их экономическую эффективность.

4. Разработать метод определения оптимальных параметров кондиций.

5. Оценить запасы месторождения по вариантам разведки, соответствующим различной степени изученности месторождения.

6. Определить оптимальную плотность сети разведки месторождения с целью подготовки его к промышленному освоению.

#### **Фактический материал, методы исследования, личный вклад автора.**

Основанием для диссертационной работы послужил материал, полученный автором при участии в проведении ЗАО «Васильевский рудник» разведочных работ на месторождении Герфед, в качестве непосредственного исполнителя и начальника геологического отдела. Лично автором формулировались цели и задачи исследований по теме диссертации.

При подготовке материала, положенного в основу диссертационной работы, автором собран, систематизирован, частично переведен в электронный вид архивный материал более чем за вековую историю изучения месторождения (66 тыс. м<sup>3</sup> канав, 102 тыс. п.м. скважин, 3 тыс. п.м. подземных выработок, 83 тыс. результатов пробирного анализа, коллекции горных пород и руд, в т.ч. 85 шлифов и аншлифов). В процессе разведки месторождения участвовала в построении 91 геологических разрезов, планов (совместно с В.С. Власовым и А.М. Сазоновым). Переработке подвергся материал семи изданных отчетов по результатам систематического изучения месторождения. В программе Microsoft Access создана база данных информации по изучению месторождения Герфед. Обработка материалов осуществлялась с использованием компьютерных программ MS Word, Excel, Access, Autodesk AutoCAD, CorelDraw, Surfer. Объемное моделирование и статистический анализ выполнялся с использованием горно-геологической системы Micromine. Для решения поставленных в диссертационной работе задач автором разработаны собственные методики, формы связанных таблиц. Аналитические, петрографические и минералого-геохимические исследования проведены в лабораториях Института геологии и минералогии СО РАН под руководством А.А. Томиленко, Института горного дела, геологии и геотехнологий СФУ под руководством С.И. Леонтьева и А.М. Сазонова, Аналитического центра геохимии природных процессов ТГУ под руководством П.А. Тишина.

#### **Защищаемые положения.**

1. Месторождение Герфед расположено в зоне несогласия отложений пенченгинской и кординской свит протерозоя. Формирование руд месторождения происходило стадийно при участии различных по составу и РТ-параметрам флюидов. Возраст гидротермального минералообразования (722,9-665 млн лет) и гранитоидного магматизма в районе (700-625 млн лет) указывает на парагенетическую связь этих процессов.

2. Оруденение локализовано в полого-складчатом кварцитовидном теле жилы Магистральной, зонах опережающих кварцевых жил в лежащем боку

призматических частей перегибов кварцитов и минерализованных сланцев. Рудные тела характеризуются неравномерным распределением золота и наличием рудных столбов, приуроченных к участкам сочленения кварцитов с опережающими жилами 2-й и 3-й зон.

3. Для выбора параметров кондиций разработан метод, основанный на сопоставлении экономических показателей освоения месторождения, рассчитанных на линейных запасах. По результатам многовариантного подсчета запасов для месторождения Герфед, рекомендуется разведочная сеть  $80-120 \times 80-120$  м с изучением представительных участков по сети  $10-20 \times 10-20$  м.

**Научная новизна.** В результате выполнения диссертационной работы впервые составлена объемная модель месторождения, на основе которой определены геологическое строение и структура месторождения Герфед. В результате лабораторных исследований изучен вещественный состав пород и руд. Определен абсолютный возраст рудного процесса по мусковиту Ar-Ar методом, сформулированы представления о генезисе месторождения. Рассчитаны показатели экономической эффективности проведенных геологоразведочных работ за весь период изучения месторождения, исследована динамика оценки запасов и затрат на проведение геологического изучения. Разработан метод определения оптимальных параметров кондиций для подсчета запасов. Выполнен многовариантный подсчет запасов для апробации результатов разработанного метода, в результате чего установлена эффективность его применения. Произведена оценка запасов месторождения при различной плотности разведочной сети и определены оптимальные ее параметры.

**Практическая значимость.** На основе данных многовариантной оценки запасов и структурной приуроченности золотого оруденения обоснована рациональная плотность сети для разведки месторождения Герфед. Полученные результаты могут использоваться при геологоразведочных работах на месторождениях-аналогах, как в пределах Енисейского кряжа, так и на других территориях, и при доразведке флангов месторождения Герфед. Изученные закономерности распределения золота на месторождении позволят за счет вовлечения в отработку более богатых либо бедных руд корректировать объемы добычи металла по периодам эксплуатации.

**Публикации и апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 9 работ, из них три в журналах, входящих в перечень ВАК. Материалы работы дважды докладывались на конференциях студентов и аспирантов. Методика определения параметров кондиций применялась при разработке ТЭО разведочных кондиций по рудопроявлениям Ударное, Вершинка и месторождению Пролетарское, прошедшее государственную экспертизу с постановкой запасов на государственный баланс.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения (7 с.), четырех глав (123 с.), заключения (4 с.) и списка литературы, включающего 107

наименований (10 с.). Общий объем работы 144 с., диссертация содержит 42 иллюстрации и 12 таблиц.

**В первой главе** рассмотрена геология рудного узла и месторождения, обосновывается первое защищаемое положение.

**Вторая глава** посвящена изучению вещественного состава рудных тел и вмещающих пород, структуры месторождения, генезиса и возраста оруденения, обосновываются первое и второе защищаемые положения.

**В третьей главе** приводится анализ стадийного изучения, обосновывается третье защищаемое положение.

**В четвертой главе** описан выбор оптимальной плотности разведочной сети на основе многовариантного подсчета запасов по кондициям, выбранным по результатам анализа линейных запасов, обосновывается третье защищаемое положение.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору А.М. Сазонову за помощь, консультации, мотивацию, понимание и поддержку на всех этапах разработки данной диссертации. Автор искренне благодарен доктору геолого-минералогических наук, заведующему лабораторией термобарогеохимии Института геологии и минералогии СО РАН А.А. Томиленко, старшему научному сотруднику Института геологии и минералогии СО РАН Н.А. Гибшер, доценту Томского государственного университета П.А. Тишину за помощь в постановке лабораторных исследований. Особую благодарность автор выражает профессорам СФУ В.С. Власову, Р.А. Цыкину, С.И. Леонтьеву, профессорам ТПУ А.К. Мазурову, А.А. Поцелуеву, С.И. Арбузову, доценту ТПУ В.А. Домаренко за полезные советы и конструктивные предложения по формированию выводов на заключительной стадии выполнения работы.

## **ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ**

**1. Месторождение Герфед расположено в зоне несогласия отложений пенченгинской и кординской свит протерозоя. Формирование руд месторождения происходило стадийно при участии различных по составу и РТ-параметрам флюидов. Возраст гидротермального минералообразования (722,9-665 млн лет) и гранитоидного магматизма в районе (700-625 млн лет) указывает на парагенетическую связь этих процессов.**

Месторождение Герфед представляет собой пластовое тело кварцитов (жила Магистральная), залегающее на контакте кварц-хлоритовых сланцев пенченгинской и углеродистых глинистых сланцев кординской свит и системы мелких «кустов» оперяющих жил выполнения в лежащем боку кварцитов в толще вулканогенно-осадочных пород пенченгинской свиты и единичных жил в породах кординской свиты (рис. 1).

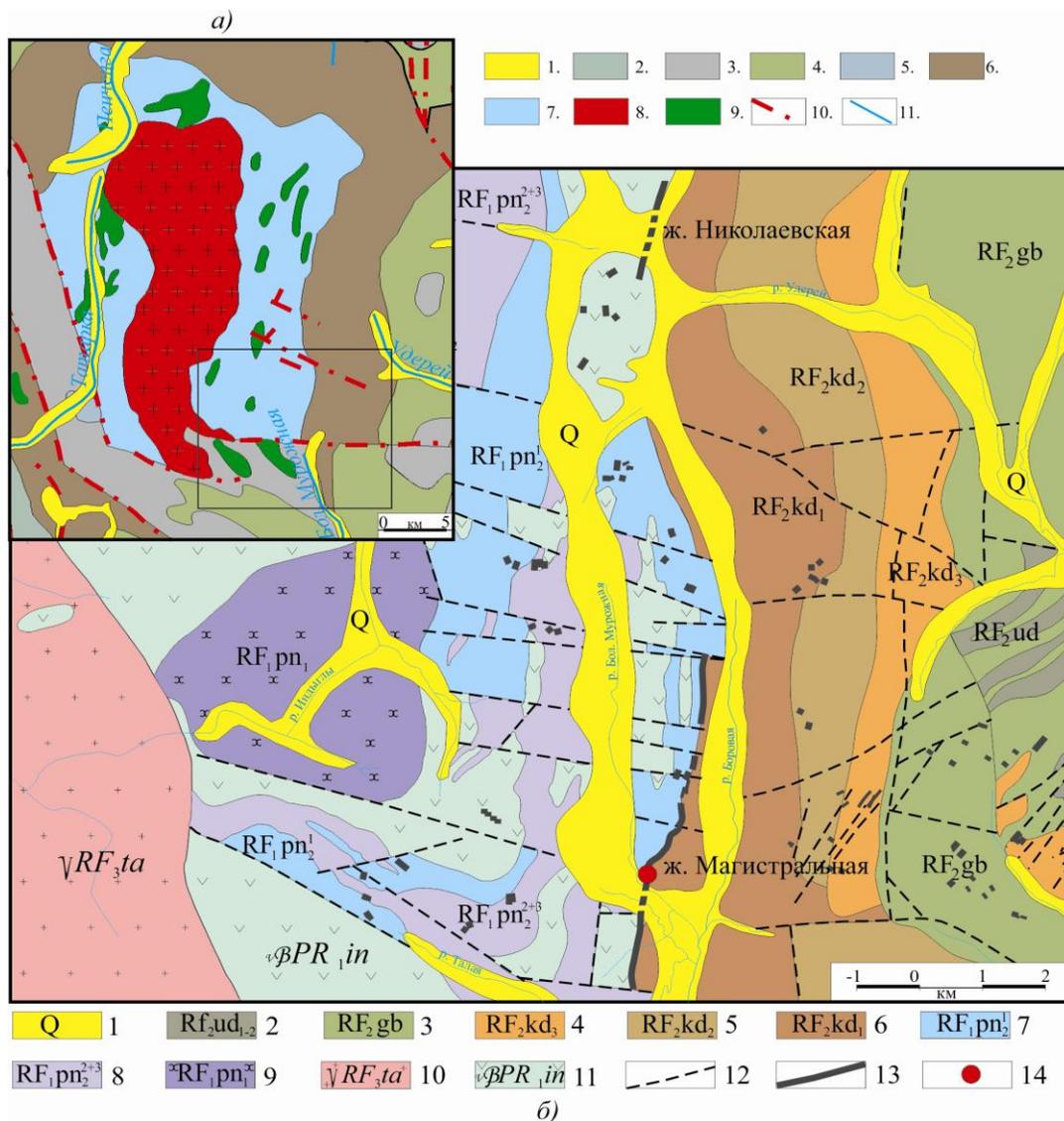


Рисунок 1. Схема геологического строения Партизанского рудного района:

а – выкопировка из геолого-литологической карты Енисейского края (по материалам Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья, 1968 г.): 1 – четвертичные отложения; 2 – горбилокская и удерейская свиты объединенные; 3 – удерейская свита; 4 – горбилокская свита; 5 – пенченгинская и кординская свиты объединенные; 6 – кординская свита; 7 – пенченгинская свита; 8 – гранитоиды; 9 – амфиболиты, диабазы; 10 – дизъюнктивы; 11 – реки.

б – геологическая карта района месторождения (по материалам А.М. Сазонова, А.А. Ананьева, 1981 г.): 1 – четвертичные отложения; 2–6 – отложения сухопитской серии: 2 – удерейская свита. Серые, темно-серые, зеленовато-серые тонкослоистые глинистые сланцы с примесью алевритового, карбонатного материала; 3 – горбилокская свита. Серо-зеленые неяснослоистые глинисто-алевритовые сланцы; 4–6 – кординская свита: 4 – верхняя подсвита. Серые ритмично-тонкослоистые углисто-песчано-алевритоглинистые сланцы; 5 – средняя подсвита. Переслаивание серых, светло-серых песчаников с черными углеродисто-глинистыми сланцами; 6 – нижняя подсвита. Серые до темно-серых неяснослоистые углеродистые глинистые сланцы с примесью алевритового материала); 7–9 – отложения тейской серии: 7 – пенченгинская свита. Верхняя подсвита. Верхняя пачка. Зеленовато-серые серицитовые микросланцы. Серые биотит-кварцевые кристаллические сланцы, углеродистые серицит-кварцевые сланцы. Линзы кварцитов; 8 – нижняя пачка. Черные микроплочатые углеродистые серицит-кварцевые сланцы; 9 – нижняя подсвита. Амфиболовые микросланцы, полосчатые серые диопсид-цоизитовые и скаполитовые мраморы, кварциты. 10–11 – магматические образования: 10 – разномерные гранитоиды Татарско-Аяхтинского комплекса (Татарский массив); 11 – амфиболиты, амфиболовые сланцы Индыглинского комплекса; 12 – разрывные нарушения; 13 – кварцевые жилы; 14 – месторождение Герфед.

На участках, примыкающих к кварцитам жилы Магистральной, вмещающие породы подверглись динамометаморфизму, хлоритизации, альбитизации, карбонатизации и окварцеванию. В строении тела кварцитов отмечается реликтовая градационная слоистость, образованная различной зернистостью обломочного материала (от гравелитового до алеврито-пелитового) и имеющая состав от существенно кварцевого до глинистого. Исходными породами кварцитов являлись олигомиктовые существенно кварцевые песчаники, продукты переотложенной высокозрелой коры химического выветривания. Золотое оруденение локализовано в пространственно сближенных, различных по возрасту и генезису геологических образованиях: жиле Магистральной, оперяющих кварцевых жилах и сульфидизированных, карбонатизированных и окварцованных метаэффузивах и кварц-хлоритовых сланцах пенченгинской свиты. Эти типы рудных образований пространственно могут быть совмещены и разобщены. Ф.П. Кренделев и А.Г. Лучко (1970) предполагали, что распределение золота в жилах Магистральной и Николаевской имеет гравитационно-осадочную природу, обогащая подошву слоистых подразделений.

В метаморфогенно-метасоматический этап минералообразования исходные кварцевые песчаники были подвергнуты перекристаллизации и метасоматическому окварцеванию, что привело к образованию жилы Магистральной. В кварцитах в небольшом количестве развиты серицит, хлорит, альбит, графит, магнетит, рутил и пирит. По результатам опробования собственно кварциты практически не золотоносны. Повышенные концентрации золота отмечаются только на участках развития минеральных ассоциаций более поздних стадий минерализации. Гидротермальный этап минералообразования подразделяется на пирит-арсенопиритовую, полиметаллическую и карбонатную стадии. В пирит-арсенопиритовую стадию образовались кварцевые жилы выполнения, вкрапленные агрегаты арсенопирита, пирита с примесью серицита, хлорита, пирротина, халькопирита и пелитоморфного самородного золота. Минеральные образования рассматриваемой стадии распространены повсеместно, но главная их масса локализуется в оперяющих жилах. С образованиями этой стадии связаны максимальные концентрации золота. В третью пирротин-полиметаллическую стадию минерализации кристаллизовались в основном сидерит и пирротин, в подчиненном количестве кальцит, серицит, пирит, сфалерит, халькопирит, галенит и самородное золото. Вероятно, в процессе образования прожилково-вкрапленных выделений пирротин-полиметаллической ассоциации осуществлялось переотложение и укрупнение частиц раннего золота. Карбонатная стадия минерализации является безрудной. Она представлена прожилковыми и гнездовыми образованиями кальцита, кварца, хлорита, гидрослюды, флюорита и пирита. В экзогенный этап минералообразования формируется завершающая стадия – выветривания и окисления гипогенных рудных минералов. В результате процессов выветривания образовались лимонит, скородит, малахит, церуссит.

Отложение и переотложение золота связано лишь со второй и третьей минеральными ассоциациями. Золотоносными являются лишь сульфиды второй и третьей стадий минерализации: пирит, арсенопирит и пирротин. В рудах месторождения с этими минералами связано основное золото, большая часть из которого ассоциирует с арсенопиритом. В процессе выветривания и окисления руд золото высвобождалось из сульфидных агрегатов и, вероятно, укрупнялось в размерах. В продуктах коры выветривания в процессе отработки россыпей неоднократно отмечались самородки, иногда уникальные.

Формирование кварца (кварцитов, оперяющих жил с низкими содержаниями золота (менее 1 г/т) и оперяющих жил с высоким содержанием золота (более 2,8-10 г/т) происходило из различающихся по составу и РТ-параметрам флюидов. Кварциты кристаллизовались при участии гомогенных существенно водно-хлоридных, низко соленых флюидов в интервале температур 120 – 230°C и давлений 0,1 – 0,5 кбар. Газовая фаза этих флюидов представлена смесью H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>. Оперяющие кварцевые жилы с низким содержанием золота сформированы гомогенными и гетерогенными флюидами при температурах 150 – 300°C и давлении 0,1 – 1,7 кбар, солености флюидов 10 мас. % и газовой составляющей из H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. Оперяющие кварцевые жилы с высоким содержанием золота формировались гетерогенными углекислотно-водными более солеными флюидами (23,3 мас. %), при более высоких температурах (150 – 400°C) и давлениях (1,3 – 2,5 кбар). Участки с высоким содержанием золота в штокверках оперяющих жил формировались при наложении соленых, высокотемпературных водно-углекислотных флюидов на слабозолотоносные кварциты и оперяющие жилы.

Возраст гидротермальной минерализации, развитой в жиле Магистральной определен по трем пробам мусковита из рудных интервалов Ag-Ag методом в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) – 665,0-722,9 млн лет. Возраст рудного процесса в месторождениях района лежит в интервале 711,6 – 605 млн лет. Калий-аргоновый возраст биотита из гранитоидов Татарского массива, расположенного в 7 км западнее от месторождения – 700 млн лет. Более поздние определения возраста U-Pb-методом по цирконам приведены в работах В.А. Верниковского (2006) – 675–630 млн лет и А.Д. Ножкина (2008) – 630–625 млн лет. Формирование руд золота, сурьмы месторождений рудного узла и гранитоидов в одном возрастном интервале свидетельствует о парагенетической связи гидротермального рудообразования и гранитоидного магматизма в рудном районе.

Таким образом, месторождение Герфед формировалось в длительный временной интервал в зоне несогласия между отложениями нижнего и верхнего протерозоя. Стержневое кварцитовидное тело месторождения представляет собой продукт переотложения химической коры выветривания нижнепротерозойских отложений, подвергнутый метаморфизму и интенсивному окварцеванию. Поздние сульфидно-кварцевые образования в

кварцитах отлагались стадийно из растворов разной степени золотонности, а иногда и из безрудных вовсе. Это, в свою очередь, сыграло определенную роль в неравномерности распределения золота в жиле.

**2. Оруденение локализовано в полого-складчатом кварцитовидном теле жилы Магистральной, зонах оперяющих кварцевых жил в лежащем боку призматических частей перегибов кварцитов и минерализованных сланцах. Рудные тела характеризуются неравномерным распределением золота и наличием рудных столбов, приуроченных к участкам сочленения кварцитов с оперяющими жилами 2-й и 3-й зон.**

Несмотря на простое плитообразное строение и сплошность распространения кварцитов жилы Магистральной в пределах всего месторождения; жила характеризуется наличием пережимов и раздувов, зачастую разделяясь на несколько фрагментов. При прослеживании жилы Магистральной по падению скважинами колонкового бурения устанавливается волнистый характер горизонта кварцитов, обусловленный складчатыми деформациями вмещающих пород и самих кварцитов как стратифицированного образования. По простиранию жилы Магистральной устанавливаются синформные и антиформные ее перегибы, осложненные более мелкими малоамплитудными антиклинальными и синклинальными структурами, учащающимися к северу (рис. 2).

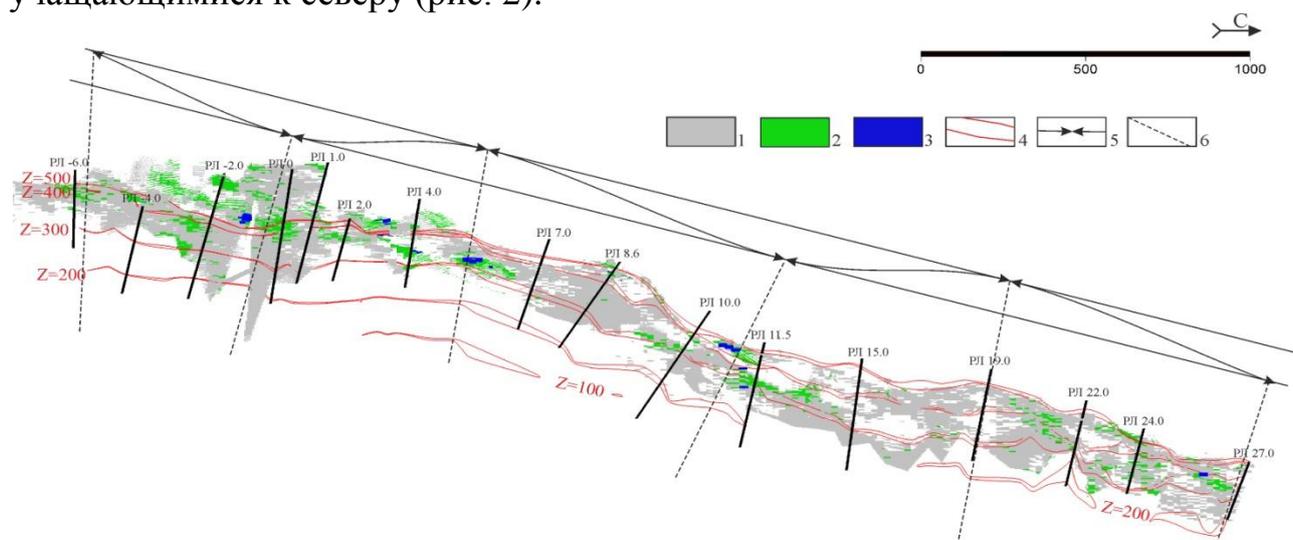


Рисунок 2. Проекция жилы Магистральной на горизонтальную плоскость  
 1 – 3 – распределение золота по классам содержаний: 1 – 1-4 г/т, 2 – 4-16 г/т, 3 – > 16 г/т; 4 – срезы жилы Магистральной (Z) на горизонтах +100, +200, +300, +400 и +500 м над уровнем моря; 5 – замковые участки перегибов жилы Магистральной; 6 – оси перегибов жилы Магистральной.

Крылья складок имеют пологое залегание. Простирание осей складок субширотное, перпендикулярное линии простирания кварцитов жилы Магистральной. Примечательна приуроченность к замкам перегибов более мелких антиклинальных структур и наиболее богатого золотого оруденения, имеющего столбовой характер.

Помимо складок по простиранию жилы Магистральной, устанавливаются складки и по ее падению. В лежащем боку кварцитов пенченгинской свиты широко развиты поперечные трещины, выполненные жильным кварцем, формирующие систему оперяющих жил. Протяженность жил – первые метры, иногда до 200 м, глубина распространения – до 250 м. В некоторых участках наблюдается скопление жил в виде пучков, расходящихся в западном направлении и концентрирующихся вблизи контакта с кварцитами жилы Магистральной. По отношению ней оперяющие трещины с жильным наполнением носят секущий характер, но, как правило, не пересекают кровлю горизонта кварцитов.

Оперяющие жилы месторождения сгруппированы в четыре зоны (рис. 3). Первая, вторая и третья зоны залегают в породах пенченгинской свиты, а четвертая – в толще пород кординской свиты.

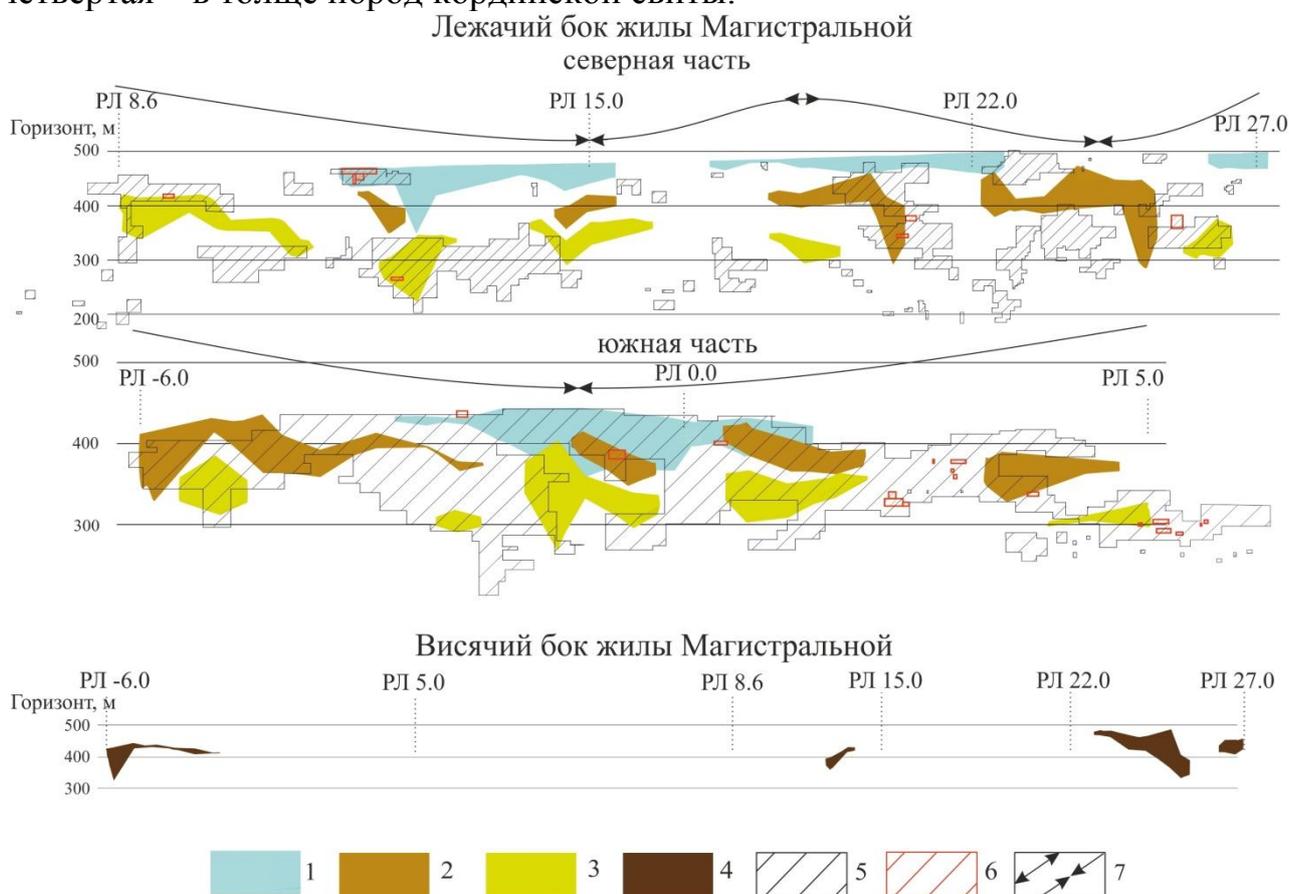


Рисунок 3. Схема распространения оперяющих жил

1–4 – зоны оперяющих жил (1 – зона 1, 2 – зона 2, 3 – зона 3, 4 – зона 4); 5, 6 – распределение золота по классам содержаний (5 – 4–16 г/т, 6 – более 16 г/т); 7 – перегибы жилы Магистральной

Геолого-структурные построения показывают, что оперяющие жилы приурочены к призмковым участкам перегибов жилы Магистральной. Формирование оперяющих жил преимущественно в породах пенченгинской свиты связано, вероятно, с их большей хрупкостью, в то время как

углеродистые сланцы всяческого бока более пластичны и неблагоприятны для развития трещиноватости.

Сопоставление распространения оперяющих структур со складчатыми сооружениями в рудном поле показывает, что первые приурочены чаще к пологим поперечным структурам, осложняющим моноклиналиное залегание пород, и главным образом к крыльям таких складок. Формирование оперяющих жил связано с напряжениями, создаваемыми при слабых перемещениях вдоль зоны нарушения субмеридионального простирания преимущественно восточной зоны. Причем напряжения были незначительными, т.е. развитие трещин в подстилающие породы произошло не глубоко. Отложения кординской свиты подвергались меньшим разрывам вследствие своей пластичности.

Отмечается взаимосвязь между расположением зон оперяющих жил и концентрациями золота (рис. 4).

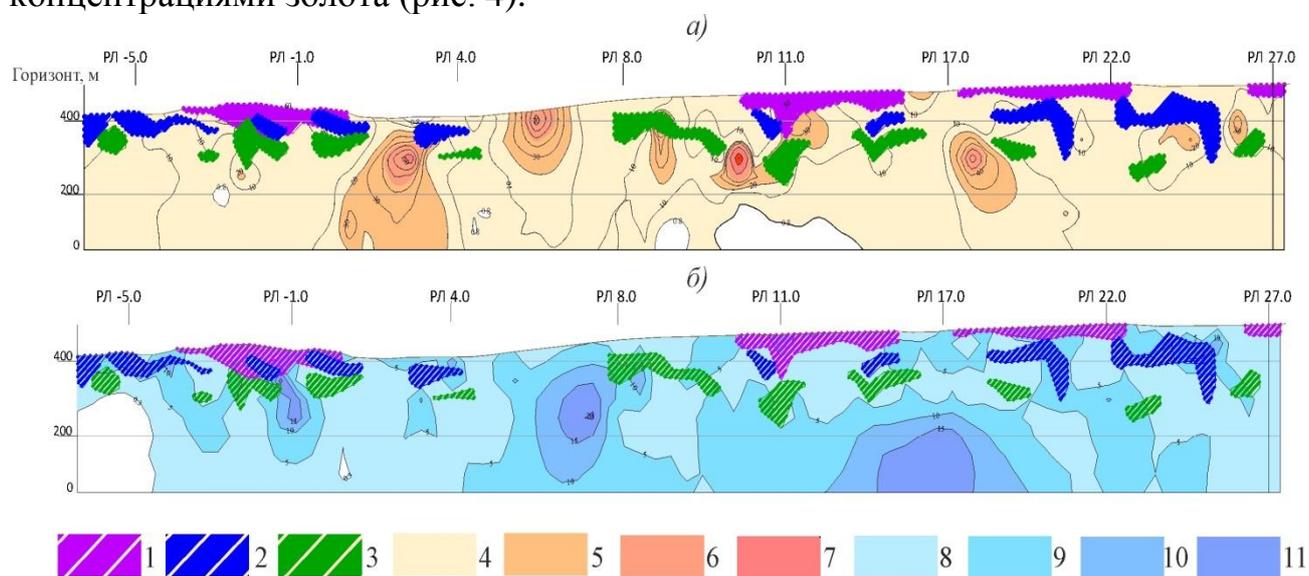


Рисунок 4. Параметры рудных тел в соотношении с оперяющими жилами:

а) содержание б) мощность. Проекция на вертикальную плоскость

1–3 – зоны оперяющих жил: 1 – зона 1, 2 – зона 2, 3 – зона №3; 4–7 – участки Au рудных интервалов: 4 –  $0.8 \text{ г/т} < \text{Au} < 20 \text{ г/т}$ , 5 –  $20 \text{ г/т} < \text{Au} < 50 \text{ г/т}$ , 6 –  $50 \text{ г/т} < \text{Au} < 70 \text{ г/т}$ , 7 –  $70 \text{ г/т} < \text{Au} < 163 \text{ г/т}$ ; 8 – 11 – участки мощности рудных интервалов (М): 8 –  $0.3 \text{ м} < \text{M} < 5 \text{ м}$ , 9 –  $5 \text{ м} < \text{M} < 10 \text{ м}$ , 10 –  $10 \text{ м} < \text{M} < 15 \text{ м}$ , 11 –  $15 \text{ м} < \text{M}$

Изолинии содержания золота оконтуривают 5 рудных столбов, вытянутых по вертикали продольного разреза. Рудные столбы приурочены к 3-й и, в меньшей степени, ко 2-й зонам распространения оперяющих жил. Максимальные концентрации металла («ядра» рудных столбов) совмещаются с полями сочленения зон оперяющих жил с жилой Магистральной. Рудные столбы в районах РЛ 5.5 и 17.5 располагаются в участках отсутствия зон оперяющих жил.

Изолинии мощности рудных интервалов также вытянуты по падению рудного тела, но имеют, по сравнению с изолиниями содержания золота, более

изометричную форму. Выделяются три зоны максимальных мощностей, совпадающие с положением рудных столбов. В оперяющих жилах отмечаются повышенные содержания металла при гнездовом характере распространения.

Морфоструктурные особенности месторождения и характер распределения золота внутри рудных тел подтверждают отнесение месторождения к третьей группе по сложности геологического строения для целей разведки. При этом условия образования руд и приуроченность золотого оруденения к различным геологическим образованиям определяют неравномерный характер распределения золота и наличие в рудных телах обогащенных участков в виде рудных столбов. Выявленные особенности влияют, прежде всего, на методику разведки месторождения и способ его отработки.

**3. Для выбора параметров кондиций разработан метод, основанный на сопоставлении экономических показателей освоения месторождения, рассчитанных на линейных запасах. По результатам многовариантного подсчета запасов для месторождения Герфед, рекомендуется разведочная сеть  $80-120 \times 80-120$  м с изучением представительных участков по сети  $10-20 \times 10-20$  м.**

Исследование месторождения Герфед продолжается уже более 130 лет. Впервые запасы месторождения учтены государственным балансом России в 2011, 2012 гг.

Границы подсчитанных запасов и ресурсов по периодам оценки месторождения приведены на продольной вертикальной проекции месторождения (рис. 5).

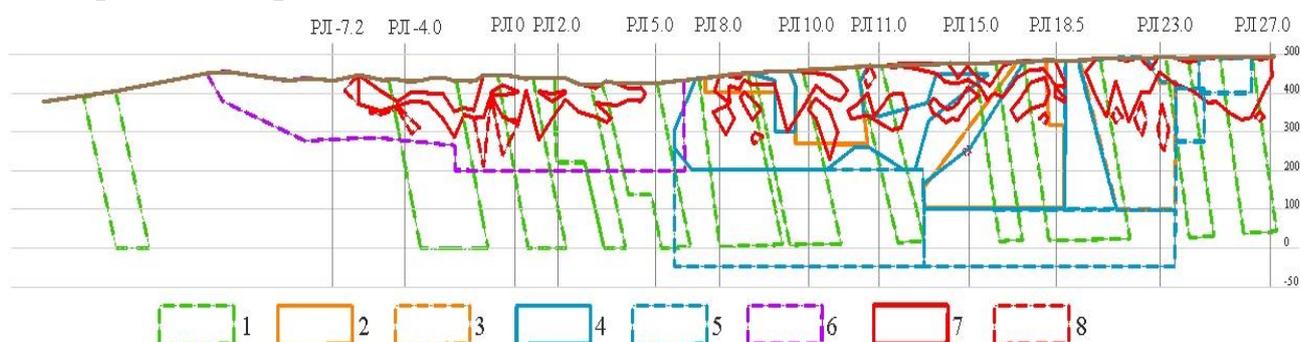


Рисунок 5. Продольная вертикальная проекция контуров

запасов и ресурсов золота по периодам изучения месторождения

1 – ресурсы по результатам оценочных работ, 1976 г; 2 – 3 – в геологических границах жилы Магистральной по результатам оценочных работ 1989 г: 2 – запасы, 3 – ресурсы; 4 – 5 – подсчитанные по принятым кондициям по результатам оценочных работ, 1989 г: 4 – запасы, 5 – ресурсы; 6 – ресурсы, оцененные при мелкомасштабных поисково-оценочных работах; 7 – 8 – по результатам разведочных работ, 2011-2012 гг: 7 – запасы, 8 – ресурсы

Месторождение имеет неравномерный характер изученности – от детальной в северной части и до слабой в южной части.

Для анализа экономической эффективности выполненных геологоразведочных работ за весь период с 1948 по 2012 г. их стоимость

переведена в текущие цены 2011, 2012 гг. на основании индексов-дефляторов, а оцененные запасы и ресурсы приведены к запасам категорий  $C_1 + C_2$  с использованием коэффициентов соотношения категорий (рис. 6). Стоимость геологоразведочных работ на месторождении Герфед за весь период составляет почти 1,5 млрд руб., а запасов, учтенных балансом – 18 т, в том числе балансовых (признанных экономически целесообразными для отработки) – 13 т, а балансовых по постоянным кондициям 5,6 т.

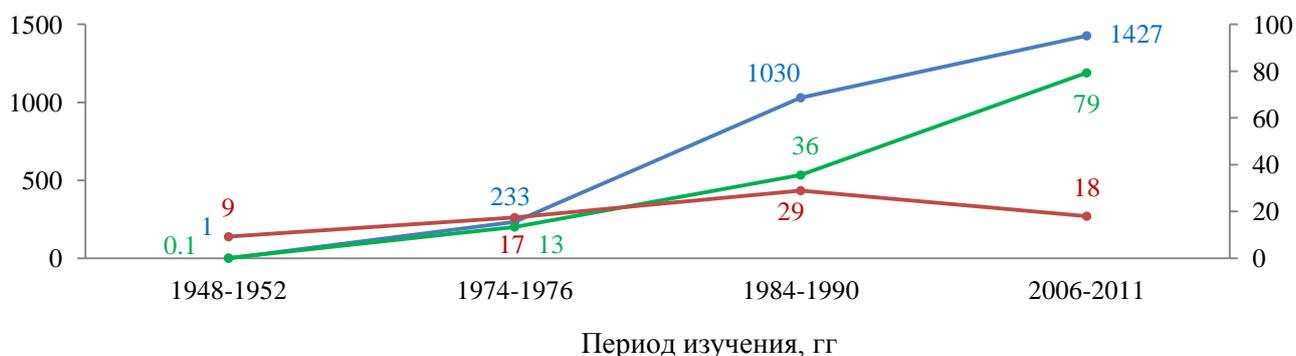


Рисунок 6. Результаты геологоразведочных работ по периодам изучения  
— затраты на геологоразведочные работы, млн руб.; — удельные затраты на 1 г золота, руб.; — запасы золота категорий  $C_1+C_2$

Анализ разведки месторождения по стадиям демонстрирует, что наиболее эффективными по приросту запасов являются работы 1984–1990 гг. – результаты подтверждают ранее полученные данные и позволяют нарастить минерально-сырьевую базу до 29 т золота по категориям  $C_1 + C_2$ . На этапе разведки месторождения в 2006 – 2012 гг. происходит снижение относительно ранее оцененных запасов по категориям  $C_1 + C_2$  с 29 до 18 т золота, но произведено изменение категории запасов. Так, при оценке запасов в 1990 г. соотношение  $C_1$  и  $C_2$  было 6 и 94 %, а в 2011, 2012 гг. – 45 и 55 % соответственно. Следовательно, если при переводе запасов из категории  $C_2$  в категорию  $C_1$  не происходит значительных количественных изменений запасов, то это, вероятно, указывает на достоверность плотности сети категории  $C_2$  для оценки запасов месторождения. Как правило, при стадийном изучении месторождения с каждой последующей стадией изучения при росте объемов и видов геологоразведочных работ убывают количественные характеристики запасов и ресурсов и увеличиваются качественные. В последние годы в практике постановки на государственный баланс запасов золоторудных месторождений 3-й группы сложности считается, что месторождение является разведанным, если более 50 % его запасов отнесено к категории  $C_1$ . В инструктивных материалах Государственной комиссии по запасам определение рационального соотношения запасов категорий  $C_1$  и  $C_2$  и объема участков детализации возложено на недропользователя, который самостоятельно для себя устанавливает степень предпринимательского риска.

В связи с этим для оптимизации расходов на геологическое изучение проведена экспериментальная оценка запасов месторождения Герфед при

различной плотности сети разведки. Для этого на основе массива пройденных выработок, соответствующих той или иной категории и степени изучения, были оценены запасы месторождения и проанализированы полученные результаты.

В рамках диссертационной работы разработан *метод выбора параметров кондиций* для месторождения Герфед. Для определения оптимальных значений параметров кондиций в программе Micromine 13.0 произведен расчет композитных интервалов по заданным вариантам сочетания бортового содержания, минимальной мощности рудного тела и максимальной мощности прослоев пустых пород и некондиционных руд. Данная операция также выполняется и в программе Excel путем выделения рудных интервалов в базе данных опробования, сформированной по результатам пробирного анализа.

*Бортовое содержание ( $C_6$ )*. На основе всего массива проб выбирается «базовый класс» для определения оптимального параметра бортового содержания золота, нижний предел которого будет соответствовать содержанию золота, немного превышающему содержание золота, не извлекаемого при обогащении руды – 0,4 г/т, а верхний обусловлен характером распределения проб – 1,2 г/т. Далее по девяти выборкам при минимальном содержании золота 0,4, – 1,2 г/т рассчитаны статистические параметры, весьма расширенные по сравнению с традиционными показателями распределения проб по классам при выборе бортового содержания, – среднее содержание, коэффициент вариации, геометрическое среднее, количество проб, стандартное отклонение, линейный запас металла. После анализа полученных результатов не определяется однозначное преимущество ни одной из выборок. Такие результаты подтверждают малую эффективность применения статистических показателей данных опробования при выборе бортового содержания.

*Минимальная мощность селективной выемки руд ( $M_{\min}$ ) и максимальная мощность для безрудных прослоев или некондиционных руд ( $M_{\max}$ )*, включаемых в контур подсчета балансовых запасов, определяется техническими возможностями добычного оборудования и составляет от 2 до 10 м.

Для *определения оптимальных параметров кондиций* анализируются линейные запасы месторождения в 135 вариантах сочетания параметров кондиций (вариант 1). По каждому варианту получена мощность (сумма мощностей рудных интервалов), среднее содержание (отношение суммы метрограммов к сумме мощностей) и метрограмм (сумма метрограммов рудных интервалов), что в соотношении с реальными подсчетными данными соответствуют руде, среднему содержанию и запасу металла (рис. 7).

В целом изменение параметров кондиций имеет закономерный характер и в каждом из показателей есть лидирующие позиции. По результатам анализа линейных запасов, оптимальными для месторождения Герфед являются следующие варианты сочетания параметров кондиций: 1)  $0,5(C_6) - 5(M_{\min}) - 10(M_{\max})$ ; 2)  $0,8(C_6) - 2(M_{\min}) - 4(M_{\max})$ ; 3)  $0,8(C_6) - 10(M_{\min}) - 5(M_{\max})$ ; 4)  $0,8(C_6) - 3(M_{\min}) - 3(M_{\max})$  и  $1,0(C_6) - 3(M_{\min}) - 5(M_{\max})$  (по утвержденным ГКЗ параметрам кондиций).

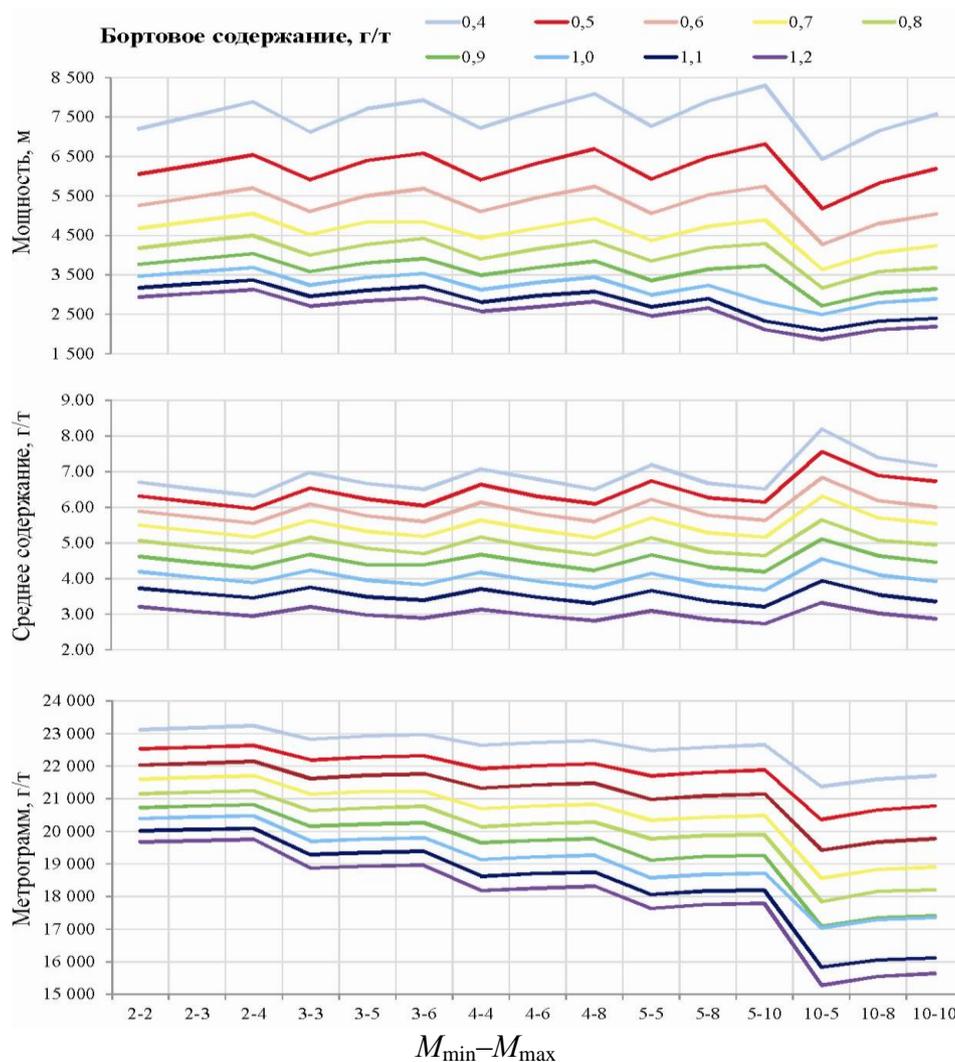


Рисунок 7. Динамика показателей линейных запасов месторождения Герфед

Далее произведен подсчет запасов, определены морфометрические характеристики рудных тел, рассчитаны потери, разубоживание и выполнена укрупненная экономическая оценка освоения месторождения (табл. 1).

Таблица 1. Результаты технико-экономических расчетов к обоснованию параметров кондиций

| Показатели   | $C_0-M_{\min}-M_{\max}$         |         |          |          |
|--|---------------------------------|---------|----------|----------|
|  | 0,8-3-3, 1-3-5<br>(по утв. ГКЗ) | 0,8-2-4 | 0,5-5-10 | 0,8-10-5 |
| <b>Объемы запасы:</b>  |                                 |         |          |          |
| Геологические запасы руды $Z$ , тыс. т                       | 7 507                           | 7 846   | 9 208    | 3 974    |
| Коэффициент рудоносности $K_p$                               | 0,67                            | 0,68    | 0,89     | 0,84     |
| Среднее содержание $C_{ср}$ , г/т                            | 3,2                             | 3,1     | 2,9      | 4,4      |
| Количество металла $Q$ , кг                                  | 24 206                          | 24 271  | 26 599   | 17 322   |
| Потери $\Pi$ , %   | 9,7                             | 9,6     | 10,0     | 7,6      |
| Разубоживание $P$ , %  | 5,9                             | 5,9     | 5,4      | 10,3     |
| Товарная руда $Z_T$ , тыс. т, $Z_T = Z(100 - \Pi)/(100 - P)$ | 7 206                           | 7 537   | 8 763    | 4 094    |
| Количество товарного металла $Q_T$ , кг,                     | 20 656                          | 20 742  | 22 620   | 15 123   |

|  |            |             |               |              |
|--|------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>Экономические показатели:</b>               |            |             |               |              |
| Цена золота Ц, руб./г                          | 1 500      | 1 500       | 1 500         | 1 500        |
| Стоимость товарной продукции $C_T$ , млн руб., | 30 985     | 31 113      | 33 930        | 22 684       |
| Эксплуатационные расходы $C_{экс}$ , млн руб.  | 25 695     | 26 624      | 30 334        | 16 204       |
| Прибыль недропользователя $D_n$ , млн руб.,    | 5 289      | 4 489       | 3 596         | 6 480        |
| Налоги, млн руб.:                              | 5 082      | 5 008       | 5 311         | 4 022        |
| <b>Чистая прибыль, млн руб.</b>                | <b>208</b> | <b>-518</b> | <b>-1 715</b> | <b>2 458</b> |

Таким образом, для месторождения Герфед оптимальными являются утвержденные параметры кондиций и целесообразным следует признать вариант  $0,8(C_6)-10(M_{min})-5(M_{max})$ . Достоверность запасов при сочетании параметров  $0,8(C_6)-10(M_{min})-5(M_{max})$  будет выше за счет более высокого коэффициента рудоносности.

Затем выполнены те же *расчеты технико-экономических показателей*, но не на реальных запасах, подсчитанных традиционным способом, а на *линейных запасах*, полученных на кондиционных интервалах. Сопоставив результаты технико-экономических показателей, рассчитанных на объемных запасах, и тех же показателей, рассчитанных на линейных запасах, выявлено, что основные итоговые значения (прибыль, расходы, стоимость продукции) имеют близкие значения и, что весьма важно для выбора параметров кондиций, соотношение межвариантных результатов также весьма близки (рис. 8).

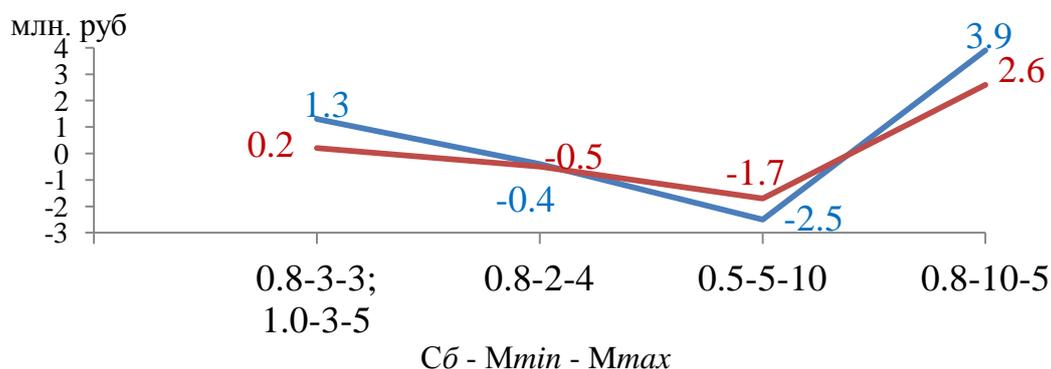


Рисунок 8. Динамика чистой прибыли по вариантам оценки, млн руб.

— прибыль, рассчитанная на линейных запасах, млн руб.; — прибыль, рассчитанная на геологических запасах, млн руб.

Из этого следует, что нет необходимости осуществлять полноценный подсчет запасов по вариантам кондиций. Достаточно оценить объемные запасы по одному варианту сочетания параметров кондиций и прогнозировать динамику технико-экономических показателей для остальных вариантов на основе линейных запасов. Это позволит оперативно выполнять повариантный подсчет, что впоследствии даст возможность перераспределять временные затраты и, в некоторых случаях, экономить средства на составление ТЭО кондиций.

Далее выполнена оценка запасов месторождения Герфед, по разряженной (в 1,5-2 раза до 80–120 × 80–120 м) разведочной сети для оценки запасов по категории С<sub>2</sub>. (вариант 2). В целом динамика показателей анализа линейных запасов весьма близка к динамике показателей, рассчитанных по варианту 1. Это может указывать на достаточность разведочных выработок варианта 2 для необходимой характеристики месторождения Герфед. Расчеты проведены по 135 вариантам сочетания параметров кондиций. В качестве базового подсчета запасов принят подсчет запасов при бортовом содержании 0,8 г/т, минимальной мощности 10 м и максимальной мощности прослоев пустых пород и некондиционных руд 5 м – как наиболее рациональных для подсчета по варианту 1. Показатели для остальных 134 вариантов сочетания параметров кондиций рассчитываются на основе линейных запасов.

Показатели прибыли в результате отработки месторождения свидетельствуют о том, что положительные результаты будут получены при бортовом содержании не ниже 0,8 г/т, это подтверждено и расчетами реальных ТЭО по месторождениям: на северной части месторождения утверждено бортовое содержание 1,0 г/т, на южной – 0,8 г/т. В рамках диссертации при подсчете запасов по варианту 1 также установлена оптимальность бортового содержания – 0,8 г/т. Отметим, что не следует воспринимать показатели чистой прибыли как абсолютные результаты, они лишь приближены к ним. График отражает динамику показателей относительно друг друга и демонстрирует преимущества между вариантами.

Оптимальными сочетаниями параметров по мощности  $M_{\min}-M_{\max}$  являются 3–5, 3–6, 5–10, 10–5, 10–8, 10–10 м (рис. 9).

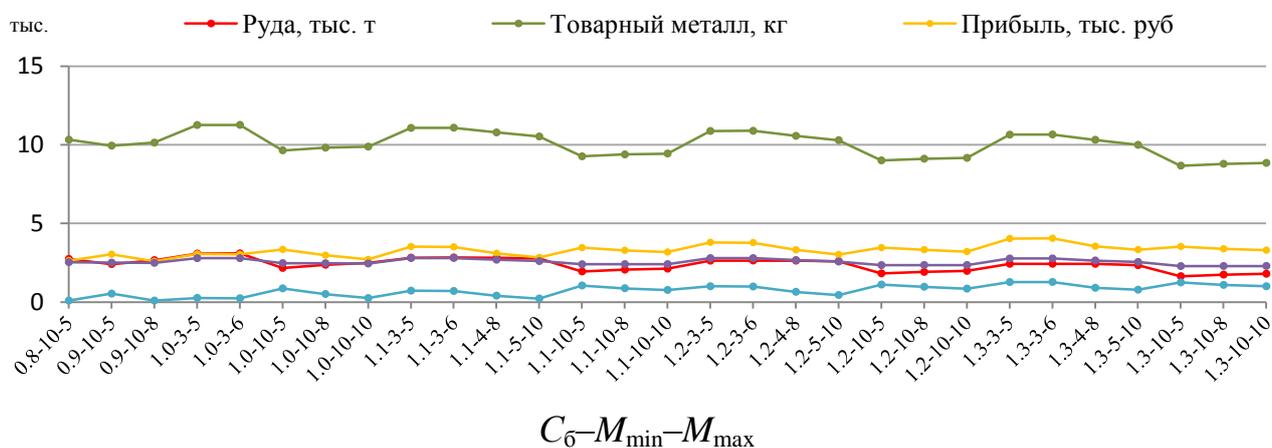


Рисунок 9. Основные технико-экономические показатели подсчета запасов по варианту 2

Расчетами к ТЭО определено оптимальное соотношение  $M_{\min}-M_{\max}$  на северной части месторождении Герфед, равное  $M_{\min}-M_{\max} = 3-5$  м, на южной части –  $M_{\min}-M_{\max} = 3-3$  м. При подсчете запасов по варианту 1 оптимальное сочетание  $M_{\min}-M_{\max} = 10-5$  м.

Подсчетом запасов по варианту 2 подтверждается оптимальность утвержденных кондиций и сочетания параметров  $C_6-M_{\min}-M_{\max} = 0,8-10-5$  – близкого по показателям с остальными «вариантами-лидерами», но наиболее рационального с точки зрения освоения недр с учетом объема переработки руды, налоговых платежей, себестоимости готовой продукции.

Для объективной оценки подсчета запасов рассчитана стоимость геологоразведочных работ для каждого варианта. Получено, что стоимость работ при разведке месторождения по варианту 2 в 1,6 раза или на 40 % ниже, чем при разведке месторождения по варианту 1.

Таким образом, результаты разработанного нами подхода к выбору параметров кондиций подтверждаются результатами реального подсчета запасов по настоящему ТЭО, что свидетельствует о правильности методики выбора параметров кондиций.

Запасы, оцененные при разведке месторождения по сети  $80-120 \times 80-120$  м для категории  $C_2$ , весьма приближены к запасам, оцененным при разведке по сети  $40-60 \times 40-60$  м для категории  $C_1$  (табл. 2). Это может указывать на достаточность и достоверность разведочной сети  $80-120 \times 80-120$  м для разведки месторождения Герфед.

Таблица 2. Результаты подсчета запасов по вариантам оценки при  $C_6-M_{\min}-M_{\max} = 0,8-10-5$

| Показатели                     | Вариант |      | Разница, % |
|--------------------------------|---------|------|------------|
|                                | 1       | 2    |            |
| Запасы руды, млн т             | 4,0     | 4,1  | 2,5        |
| Среднее содержание золота, г/т | 4,37    | 4,72 | 7,3        |
| Запасы золота, т               | 17,3    | 19,5 | 12,7       |

*Сопоставление данных детальной разведки с результатами стадийного изучения месторождения показывает, что расположение, форма и параметры рудных тел по данным разведочных работ практически на всех разрезах после проведения детальной разведки изменились - вполне устойчивые и увязанные по профилям рудные тела разбились на мелкие линзообразные фрагменты и, как следствие, произошло значительное уменьшение количества руды.*

*Вывод.* Приуроченность оруденения к различным геологическим образованиям обусловила неравномерный характер распределения золота в рудных телах. Кварциты, выполняющие жилу Магистральную, оказались наиболее хрупкими в геологической толще недр и подверглись наиболее интенсивной трещиноватости. Вмещающие со стороны лежащего бока кварц-хлоритовые сланцы пенченгинской свиты также подверглись трещиноватости, но в гораздо меньшей степени. Образовавшиеся массовые трещины в жиле Магистральной и в породах пенченгинской свиты впоследствии заполнились золотосодержащим минеральным агрегатом. Приведенные сведения о плотности сети могут учитываться при проектировании геологоразведочных работ. На базе полученных данных по месторождению Герфед и в соответствии

с действующими нормами и правилами проведения разведочных работ на месторождениях золота 3-й группы предлагается плотность сети разведки месторождений, аналогичных изученному. Расположение разведочных выработок и расстояние между ними должны быть определены с учетом столбового характера распределения золота. Результаты разведочных работ, проводимых ЗАО «Васильевский рудник», и повариантный подсчет с разной плотностью разведочной сети, выполненный в рамках диссертации, показали, что разведка месторождения по сети 40–60 × 40–60 м не позволяет осуществить оценку запасов по категории С<sub>1</sub>.

Таким образом, при проведении геологоразведочных работ на месторождениях, аналогичных Герфед, достаточно ограничиться разведочной сетью 80–120 × 80–120 м и несколькими участками детализации по сети 10–20 × 10–20 м. В таком случае в целом по месторождению будут определены морфометрические характеристики рудных тел, условия их залегания, а по участкам детализации изучены их особенности. Поисковым критерием наличия рудных столбов будут служить оперяющие жилы, подсеченные выработками оценочной стадии.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате диссертационной работы выявлены и уточнены значимые особенности геологического строения и распределения золота для геологоразведочных работ и подсчета запасов месторождения Герфед, сформулированные в трех защищаемых положениях.

В ходе проведения и анализа материалов геологоразведочных работ выявлено, что породы кординской свиты залегают на породах пенченгинской свиты с несогласием. По результатам минералого-петрографических исследований установлен вещественный и химический состав руд и вмещающих пород, их структура и текстура. На основании полученных данных предполагается, что исходными породами кварцитов жилы Магистральной являлись олигомиктовые существенно кварцевые песчаники, продукты переотложенной высоkozрелой коры химического выветривания, претерпевшие неоднократные гидротермальные изменения. Полученные результаты о возрастном интервале формирования гидротермальных руд месторождения Герфед позволили предположить наличие парагенетической связи между гидротермальным рудообразованием и гранитоидным магматизмом в рудном районе.

В процессе выполнения диссертационной работы впервые составлена объемная геологическая модель месторождения Герфед. Установлены особенности распространения оперяющих жил и приуроченность их к синформным и антиформным перегибам кварцитов жилы Магистральной. Сопоставление структурных построений и результатов пробирного анализа на золото позволило определить закономерности распределения золота внутри рудных зон, приуроченность максимальных концентраций золота к третьей и

реже второй зонам распространения оперяющих жил. Наличие вытянутых аномалий золота по вертикали продольного разреза свидетельствует о столбовом распределении золота на месторождении. Столбовой характер распределения золота подтверждается и данными детальной разведки – вполне устойчивые и увязанные по профилям на разведочной стадии рудные тела разбились после проведения детальной разведки на мелкие линзообразные фрагменты. Установленные особенности распределения золота на месторождении могут быть использованы при отработке месторождения, корректируя планы горных работ при добыче заданных объемов руды и металла. Полученные данные послужили основой для определения плотности и характера разведочной сети для подготовки месторождения к промышленному освоению, выбора способа подсчета запасов.

В результате анализа эффективности работ по стадиям изучения месторождения установлено, что изученность месторождения имеет неравномерный характер.

Для выбора параметров кондиций в рамках диссертационной работы разработан метод определения оптимальных параметров кондиций на основе расчета и сравнительного анализа основных технико-экономических показателей на базе линейных запасов. Метод доказал свою эффективность в рамках расчетов в диссертационной работе, апробирован на проекте технико-экономического обоснования параметров кондиций, прошедшего экспертизу государственной комиссии запасов РФ, а также опубликован в статье журнала, рекомендуемого ВАК РФ. По результатам оценки запасов на массиве выработок, соответствующим разной степени изученности месторождения установлено, что запасы, оцененные при разведке месторождения по сети  $80-120 \times 80-120$  м для категории  $C_2$ , весьма приближены к запасам, оцененным по сети  $40-60 \times 40-60$  м при разведке для категории  $C_1$ . Это указывает на достаточность и достоверность плотности разведочной сети для категории  $C_2$  при разведке месторождения Герфед.

Таким образом, в рамках диссертационной работы установлено, что оптимальная плотность разведочной сети для месторождения Герфед составляет  $80-120 \times 80-120$  м с несколькими участками детализации по сети  $10-20 \times 10-20$  м, применять которую можно при разведке аналогичных месторождений и доизучении флангов месторождения Герфед.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*В изданиях перечня ВАК РФ*

1. Гарькавенко, С.Д. Анализ результатов подсчета запасов месторождения Герфед / С.Д. Гарькавенко, А.М. Сазонов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Сер. Техника и технология. –2013. –Т.6, № 7. – С. 739-741.
2. Гарькавенко, С.Д. Новый способ выделения параметров кондиций месторождений золота кварцево-жильного типа / С.Д. Гарькавенко, А.М. Сазонов // Известия сибирского отделения секции наук о земле

российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. –2014. –Т. 46. - № 3. – С. 48-55.

3. Гарькавенко, С.Д. Особенности геологического строения и рудолокализации месторождения Герфед / С.Д. Гарькавенко, А.М. Сазонов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Сер. Техника и технология. –2014. –Т.7, № 6. – С. 711-716.

*В прочих изданиях*

4. Гарькавенко, С.Д. Анализ геологоразведочных работ на месторождении Герфед / С.Д. Гарькавенко, А.М. Сазонов // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. – 2012. – № 10. – С. 8-17.

5. Гарькавенко, С.Д. О степени разведанности месторождения Герфед / С.Д. Гарькавенко, А.М. Сазонов // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. – 2012. – № 11. – С. 37-41.

6. Гарькавенко, С.Д. Общие положения геологоразведочной модели месторождения Герфед / С.Д. Гарькавенко, А.М. Сазонов // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. – 2013. – № 11. – С. 41-46.

7. Гарькавенко, С.Д. Типы руд месторождения Герфед / С.Д. Гарькавенко, А.М. Сазонов // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. – 2012. – № 10. – С. 4-8.

8. Гарькавенко, С.Д. Отражение золотоносности руд в химическом составе пирротина месторождения Олимпиада / Н.А. Некрасова, К.Ю. Сакулина, С.Д. Гарькавенко // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. – 2013. – № 11. – С. 33-37.

9. Гарькавенко, С.Д. Геология и генезис месторождения Герфед / А.М. Сазонов, Т.В. Полева, С.Д. Гарькавенко // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. – 2012. – № 10. – С. 69-74.