

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Кузнецов Максим Вадимович

**Геологическое строение, комплексное использование недр и
экономическая оценка золоторудного месторождения Дяппе
(Хабаровский край)**

Специальность 1.6.10. Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2026

Диссертация подготовлена на кафедре геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Научный *Богуславский Михаил Александрович,*
руководитель: *кандидат геолого-минералогических наук*

Официальные *Кушнарев Петр Иванович,* доктор геолого-
оппоненты: *минералогических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, отдел методики геолого-экономической оценки и разведки месторождений, главный научный сотрудник*

Назарова Зинаида Михайловна, доктор экономических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, факультет экономики и управления имени академика М.И. Агошкова, кафедра производственного и финансового менеджмента, профессор

Старостин Иван Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, отдел научно-методического обеспечения и сопровождения геологоразведочных работ, заместитель начальника отдела

Защита диссертации состоится «25» ноября 2026 г. в 14:30 на заседании диссертационного совета МГУ.016.6 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет, ауд. 308.

E-mail: kuznetsovkm@my.msu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций Научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/4052>

Автореферат разослан «__» октября 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, кандидат технических наук

К.М. Кузнецов

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Месторождение Дяппе – крупное месторождение золота в Хабаровском крае, которое до последнего времени оставалось малоизученным: в исследованиях предыдущих лет основное внимание уделялось вещественному составу руд и вмещающих пород, тогда как структурным аспектам рудообразования не уделялось должного внимания. В частности, оставалась неясной взаимосвязь между региональным тектоническим планом и кинематикой локальных рудоконтролирующих разломов. Как следствие, не была сформирована концептуальная структурная модель, описывающая последовательность и геодинамические условия формирования рудных тел.

По результатам современных геологоразведочных работ на государственный баланс были поставлены запасы основного компонента – золота, несмотря на то, что исторически отработка велась комплексно на золото и сурьму. Проведенный анализ показал, что сурьма формирует рудные тела со специфической морфологией и условиями локализации. Как следствие, разведочная сеть и методика геологоразведочных работ, оптимизированные для подсчета запасов и установления локализации золота, не позволили объективно дать достоверную качественную и количественную оценку запасов сурьмы.

Ключевой проблемой вовлечения в отработку объектов Дяппе-Спорненского рудного узла является упорный характер руд, что делает экономически нецелесообразной разработку локальных месторождений по отдельности. В связи с этим актуальность работы также состоит и в научном обосновании рассмотрения объектов рудного поля в едином кластере. Предлагаемый кластерный подход, основанный на геологическом единстве объектов и их совместном вовлечении в отработку, позволяет рассматривать их как единую сырьевую базу для формирования рентабельного горно-обогатительного производства.

Степень разработанности

Геологическое изучение Дяппе-Спорненского рудного узла ведётся с начала XX века в связи с открытием и начавшейся отработкой россыпей золота в бассейнах рек Пильда и Лимури. В 1914 году золотопромышленником И.С. Мартемьяновым было открыто и разведывалось первое в этом районе золоторудное месторождение, названное в его честь - Мартемьяновским. С начала тридцатых годов XX века в связи с развитием поисковых работ на золото и другие полезные ископаемые начинается более систематическое геологическое изучение района.

Особо следует отметить материалы недавних геологоразведочных работ, выполненных в рамках подготовки ТЭО постоянных кондиций. Полученные данные бурения по плотной разведочной сети и проходки траншей послужили фактологической основой и обеспечили возможность проверки гипотез, выдвигаемых в настоящем исследовании.

Несмотря на большой объем проведённых предшественниками работ, активное вовлечение в разработку месторождений в изучаемом районе не ведётся. В этой связи в настоящей работе предлагается подход совместной разработки месторождений в виде отдельных кластеров. В советский период эта идея реализовалась через территориально-производственные комплексы, а в новом столетии активное предложение концепций выдвигалось в середине 2010-ых Райхлиным А.И., Коневым А.А., Макаровым В.А., Шульгиной К.А., Богдановской С.Ф., Мироновой Ж.В., Кузиной Л.Н. и Никифоровой В.В.

Цели и задачи

Основной целью диссертационной работы является обоснование структурного контроля оруденения месторождения Дяппе, где особое внимание уделяется морфологии рудных тел. Обновление представления о рудных телах привело к новой геолого-экономической оценке объекта.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие научные задачи:

- Формирование геолого-структурной модели, описывающей последовательность и геодинамические условия формирования структуры месторождения;
- Построение 3D моделей месторождения с учётом структурного фактора контроля золотого оруденения;
- Построение многовариантных финансово-экономических моделей Дяппе с учётом возведения собственных перерабатывающих мощностей полного цикла.
- Анализ залегания сурьмяной минерализации и оценка её ресурсной базы;
- Оценка перспективы совместного освоения объектов в рамках единого кластера на примере месторождения Дяппе и Дяппе-Спорненского рудного узла.

Объект и предмет исследования

Объектом диссертационного исследования выступает золоторудное месторождение Дяппе, расположенное в Ульчском районе Хабаровского края. В 1935 г. геологом С.А. Орешкиным было открыто золоторудное месторождение Дяппе. По результатам проведённых геологоразведочных работ в 2019 году для него были утверждены запасы по категории C_1+C_2 Au 62,3 т при среднем содержании 2,23 г/т. Помимо Дяппе, в охват исследования включено Мартемьяновское месторождение, входящее в Дяппе-Спорненский рудный узел. Предметом исследования являются структурные факторы локализации оруденения, определяющие геологическую модель и параметры запасов месторождения Дяппе, а также условия, влияющие на его геолого-экономическую оценку.

Научная новизна исследования

В настоящей работе предлагается уточнённое структурное положение и пространственная ориентировка золоторудных тел месторождения Дяппе. Оценены ресурсы сурьмы на месторождении Дяппе и изучена возможность совместной отработки с основным компонентом. Предложена методика оценки целесообразности вовлечения соседних объектов в совместную отработку в рамках единого кластера.

Теоретическая значимость

Установлено, что морфология и пространственное положение рудных тел месторождения Дяппе определяются структурным фактором. На этой основе построена геологическая модель с наклонным залеганием рудных тел. Также сформировано представление о сурьмяной минерализации в виде отдельных гнезд с антимонитом.

Практическая значимость

Полученное представление о морфологии рудных тел с учётом структурного фактора позволило выявить новые участки с рудными телами, потенциально соединяющие руду, выявленную в траншеях и на глубине. Полученный результат может быть использован для корректировки стратегии последующих разведочных работ и проведения дополнительного бурения для оценки новых выявленных участков.

Сформированная позиция и морфология рудных тел сурьмы, а также оценка её ресурсов позволяют принять во внимание возможность комплексной отработки руд. Расположение сурьмяной минерализации внутри проектного контура карьера даст возможность снизить объёмы отходов, направляемых в отвалы, делая недропользование рациональным, а также увеличить выручку при разработке месторождения.

Обоснование возможности совместной отработки близлежащих объектов открывает перспективы для увеличения ресурсной базы и оптимизации затрат на инфраструктуру и переработку руд. Это особенно актуально в условиях истощения запасов действующих месторождений и необходимости освоения новых объектов. Важно, что авторская методика обоснования универсальна и может быть применена на других объектах.

Экономическая переоценка позволяет обосновать строительство целого инфраструктурного комплекса полного цикла, мощности которого могут быть использованы при разработке не только Дяппе, но и близлежащих объектов, что сократит затраты и сроки начала реализаций новых проектов.

Фактический материал

В основе работы лежат исследования, выполненные автором во время обучения в аспирантуре на Геологическом факультете МГУ им. Ломоносова в период 2021 по 2025 год и самостоятельного посещения объекта исследования с отбором материала.

Для написания настоящей работы использован каменный материал, представленный 32-мя штуфными пробами, отобранными для минералого-петрографических исследований.

Ключевую роль сыграли разведочные данные, включающие результаты более 25 тысяч анализов ICP-AES; пробирные анализы золота (более 165 тысяч); документация с фотографиями и описанием более 30 тысяч метров траншей и канав, а также более 110 тысяч метров керна.

Методология и методы исследования

В основу работы легло построение геолого-структурной модели формирования Дяппе-Спорненского рудного узла, описывающей последовательность и геодинамические условия формирования рудных тел. Модель получена путём компиляции данных, актуальных на момент написания настоящей работы. Выявленные из модели структурные факторы контроля оруденения позволили отстроить рудные тела по собственной интерпретации, которые впоследствии были валидированы основными методами: визуальным, геостатистическим и пространственным (SWATH) анализами.

Для геологического моделирования применялись специализированные программы, включая, но не ограничиваясь tNavigator, которые позволили визуализировать структуру месторождения и построить цифровую геологическую модель. В них были оконтурены рудные тела на основе данных опробования и геологической интерпретации, а также отстроены разрывные нарушения, определяющие положения лежащих и висячих блоков и уточняющие распределение минерализации. Использование программных комплексов обеспечило высокую детализацию модели, что позволило корректно интерпретировать данные, провести подсчет запасов и оценку ресурсов.

В рамках экономической оценки была разработана детальная финансово-экономическая модель, включающая основные формы прогнозной отчетности. Особенностью модели является сценарный подход к рассмотрению вариантов по переработке концентрата: переработка у внешнего переработчика или на собственных мощностях с учётом инвестиций в возведение фабрики и газотурбинной станции как источника тепло- и электроэнергии. Модель построена в Microsoft Excel с использованием динамических формул, что позволило гибко тестировать различные условия и оценивать влияние внешних факторов на финансовые показатели.

При подготовке работы собран, переработан и проанализирован материал более чем из 70 источников, включающих книги, сборники тезисов различных конференций, журналы и фондовые материалы как на русском, так и английском языках.

Защищаемые положения

1) Формирование Дяппе-Спорненского рудного узла происходило в механической обстановке широтного простого сдвига. В этой обстановке развивалось многофазное приоткрытие систем трещин с углами падения около 45° от дневной поверхности конформно Центральному разлому, где впоследствии развивались метасоматиты, связанные с золотым оруденением.

2) При бортовом содержании 0,2 г/т и сохранении остальных параметров кондиций переоценка запасов месторождения Дяппе с учётом новой концепции залегания рудных тел составляет более 139 т золота. По данным геолого-экономического анализа месторождения Дяппе проект промышленного освоения с вовлечением в отработку 88,5 т запасов, входящих в контур проектного карьера, является рентабельным и позволяет получить NPV (10%) около 60 млрд рублей.

3) Сурьмяная минерализация представлена гнёздами антимонита в кварцевых жилах. Проведённые предшественниками разведочные работы по буровой сети 40х40 метров не позволили достоверно оценить запасы сурьмы. Построенная геологическая модель на основе анализа фондовых материалов и

данных ICP анализов дала возможность оценить ресурсы сурьмы в размере около 250 т, включая 60 т для производства дефицитного крупнокускового концентрата.

4) Предлагаемый инфраструктурный проект для Дяппе позволяет пересмотреть геолого-экономическую оценку соседних объектов, что ведёт к увеличению минерально-сырьевой базы района. По авторской методике рассчитаны минимальные средние содержания золота в товарной руде для объектов одного геолого-генетического типа с Дяппе, при которых с учётом логистических издержек сохраняется экономическая эффективность совместного проекта.

Степень достоверности

Материалы диссертации доложены автором в устных докладах на конференциях. Полученные результаты согласуются с исследованиями, представленными в независимой опубликованной литературе.

Апробация результатов

Результаты настоящей работы опубликованы в трёх научных статьях, а также докладывались на международных и российских конференциях:

- 6-я Молодежная научно-образовательная конференция «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче», Рудная школа ЦНИГРИ – 2025 г;
- 32-я Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2025» – 2025 г.;
- 33-я Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2026» – 2026 г.

Публикации

Основные положения, результаты и выводы диссертации отражены в 3 научных статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях,

рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук.

Личный вклад

Автором лично выполнен весь цикл диссертационного исследования, начиная от постановки задач и разработки теоретических основ их решения, заканчивая анализом полученных результатов. Основой работы являлось проведение геолого-структурного моделирования рудного узла с выявлением структурных факторов контроля рудных тел на месторождении Дяппе. На основе структурной модели была построена многовариантная 3D модель месторождения с различными бортовыми содержаниями; была проведена валидация построенной модели основными методами заверки. На основе полученных горно-геологических параметров была оценена экономика разработки месторождения с построением финансово-экономических моделей. Был проведён анализ сурьмяной минерализации с последующим построением её объемной модели и оценкой ресурсов. Автором предложена собственная методика оценки целесообразности вовлечения соседнего объекта в совместную отработку, основанная на геологическом единстве объектов и экономической обоснованности их вовлечения в отработку.

Автор самостоятельно и вместе с соавторами участвовал в подготовке публикаций по теме проведенного диссертационного исследования. В них вклад автора является определяющим – автор принимал непосредственное участие в постановке научных задач, разработке методик, интерпретации результатов, формулировке выводов, а также в непосредственной подготовке текстов статей.

Объём и структура работы

Диссертационная работа включает введение, 5 глав, заключение и библиографический список. Работа изложена на 107 страницах, содержит 11 таблиц и 61 рисунок. Библиографический список содержит 76 наименований.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи, указаны объект и предмет исследований, практическая значимость и научная новизна работы, методология и методы исследования, степень достоверности, личный вклад, информация о научных публикациях, а также сформулированы 4 защищаемые положения.

Глава 1. Геология района месторождения Дяппе

Первая глава посвящена краткой истории геологического изучения района месторождения Дяппе, этапам геологических исследований, а также в ней представлены основные аспекты геологического строения района.

Глава 2. Геология месторождения Дяппе

Вторая глава посвящена геолого-структурному анализу Дяппе-Спорненского рудного узла. На основе данных предшественников была представлена самостоятельная структурная модель района, в которой формирование Дяппе-Спорненского рудного узла происходило в механической обстановке широтного простого сдвига, где генеральные сдвиги (система Y по Риделю) были представлены региональными разломами, имевшими, как минимум, два этапа развития. Направление смещения по ним изменилось с левостороннего на первом этапе на правостороннее на втором этапе.

Последовательность деформационных событий в районе месторождения на первом этапе представляется в следующем виде (рис. 1):

Ia) Формирование зоны присдвигового растяжения северо-восточного простирания с сериями трещин и широких зон отрыва (система T по Риделю);

Iб) Внедрение в пределах зоны растяжения многочисленных магматических тел – от линейных интрузивов до целых серий даек, характеризующих дорудную стадию.

В той же механической обстановке левостороннего простого сдвига после застывания интрузива Дяппе произошла его хрупкая деформация, за счет которой приоткрывались многочисленные системы трещин.

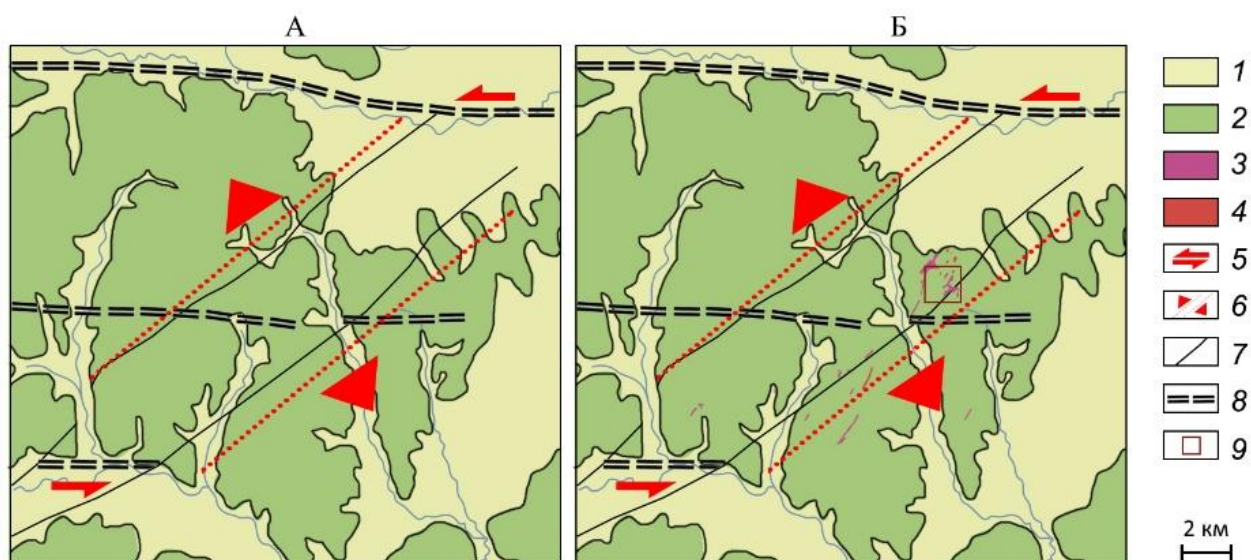


Рисунок 1 – Структурная схема первого этапа: А – этап Ia, Б – этап Ib становления Дяппе-Спорненского рудного узла, с изменениями (Дьячков, 1989; Бруско, 1991): 1 – четвертичные отложения; 2 – меловые терригенно-осадочные отложения; 3 – диориты и кварцевые диориты; 4 – гранодиориты; 5 – левосторонние широтные сдвиги, 6 – зона присдвигового растяжения, отвечающая Дяппе-Спорненскому рудному узлу; 7 – внутриблоковые разломы второго порядка; 8 – региональные разломы; 9 – месторождение Дяппе

По этим системам проникали гидротермальные минерализованные растворы, формирующие зоны метасоматитов, что соответствует рудной стадии.

Одним из элементов этой системы трещин является синтетический Центральный разлом, параллельный широтным генеральным сдвигам. Он имеет попутный изгиб, в зоне которого формировался локальный участок присдвигового растяжения (трастенсии) (рис. 2).

На втором этапе формирования Дяппе-Спорненского рудного узла направление смещения по генеральным сдвигам сменилось на правостороннее, вследствие чего его дальнейшее развитие проходило в механической обстановке правостороннего простого сдвига (рис. 3). Обстановка присдвигового растяжения сменилась режимом субширотного сжатия. Следствием этого процесса стало вероятное формирование взбросов прямо в пределах первичной зоны растяжения.

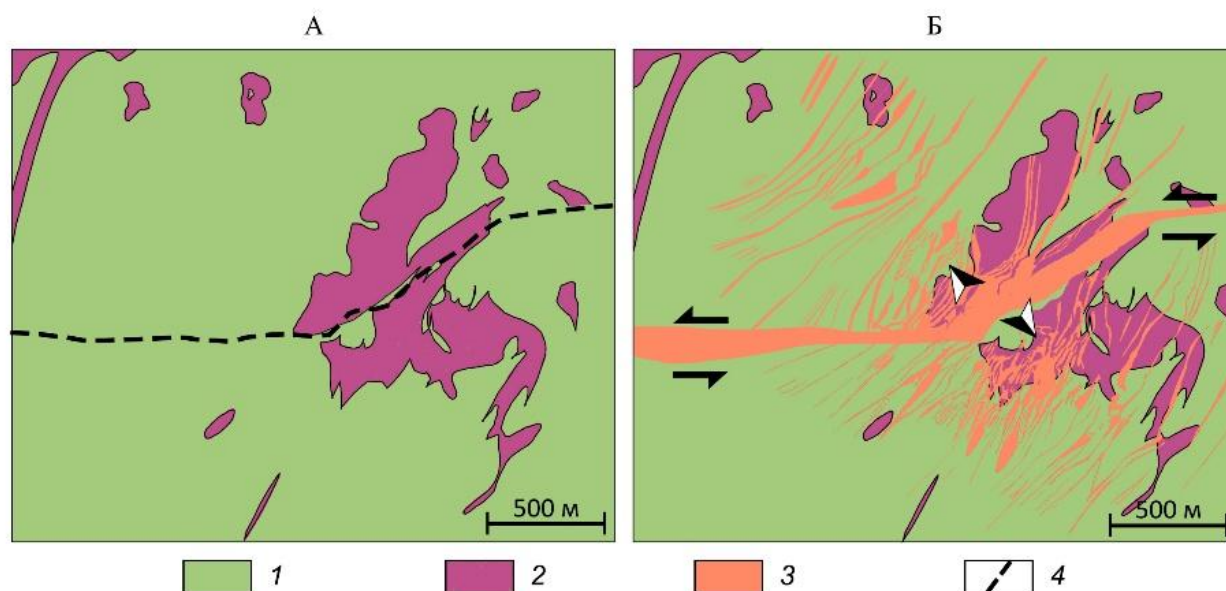


Рисунок 2 – Схема дорудной (А) и синрудной (Б) структур на месторождении Дяппе. Основная рудная зона сформировалась в зоне транстенсии на попутном изгибе Центрального левого сдвига. 1 – меловые терригенно-осадочные отложения; 2 – Дяппенский массив диоритов, кварцевых диоритов; 3 – зоны выходов метасоматизированных пород на поверхность; 4 – Центральный разлом

На этом этапе развития и кинематика Центрального сдвига изменилась на правостороннюю. При этом попутный изгиб Центрального сдвига стал встречным, а зона транстенсии трансформировалась в зону транспрессии (рис. 3). Вследствие этого в ее пределах, а также практически по всей своей длине Центральный сдвиг включает зону дробления, достигающую мощности 30 м.

Деформации второго этапа формирования района создали различные зоны катаклаза, трещиноватости и тектонических брекчий, фиксирующих участки разгрузки тектонических напряжений. В пределах месторождения и рудного поля в целом этими зонами контролируется развитие гидротермально-метасоматических преобразований, представленных метасоматитами и метасоматическими изменениями кварцевого, серицит-кварцевого и кварц-серицитового состава. Зоны имеют северо-восточное и северо-северо-восточное простирание и развиты как в терригенно-осадочных породах, представленных

алевролитами, песчаниками, туфопесчаниками, так и в магматических породах Дяппенского массива (рис. 4).

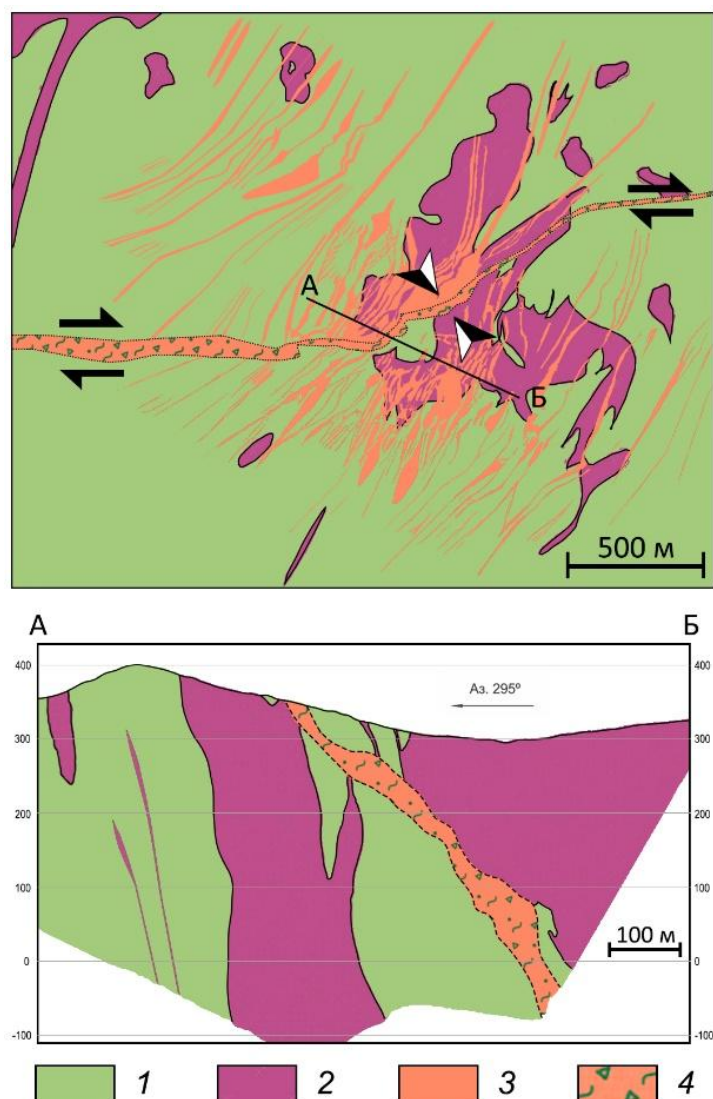


Рисунок 3 – Схема встречного изгиба Центрального правого сдвига в пострудный период с разрезом. 1 – меловые терригенно-осадочные отложения; 2 – Дяппенский массив диоритов, кварцевых диоритов; 3 – зоны выходов метасоматизированных пород на поверхность; 4 – рудная брекчия Центрального разлома

В данной главе также подробно описываются факторы, которые подтверждают пострудный этап Центрального разлома. Они заключаются в отсутствии залечивания зон дробления и геохимических аномалий.

По итогам структурного моделирования был сформирован структурный фактор контроля оруденения.

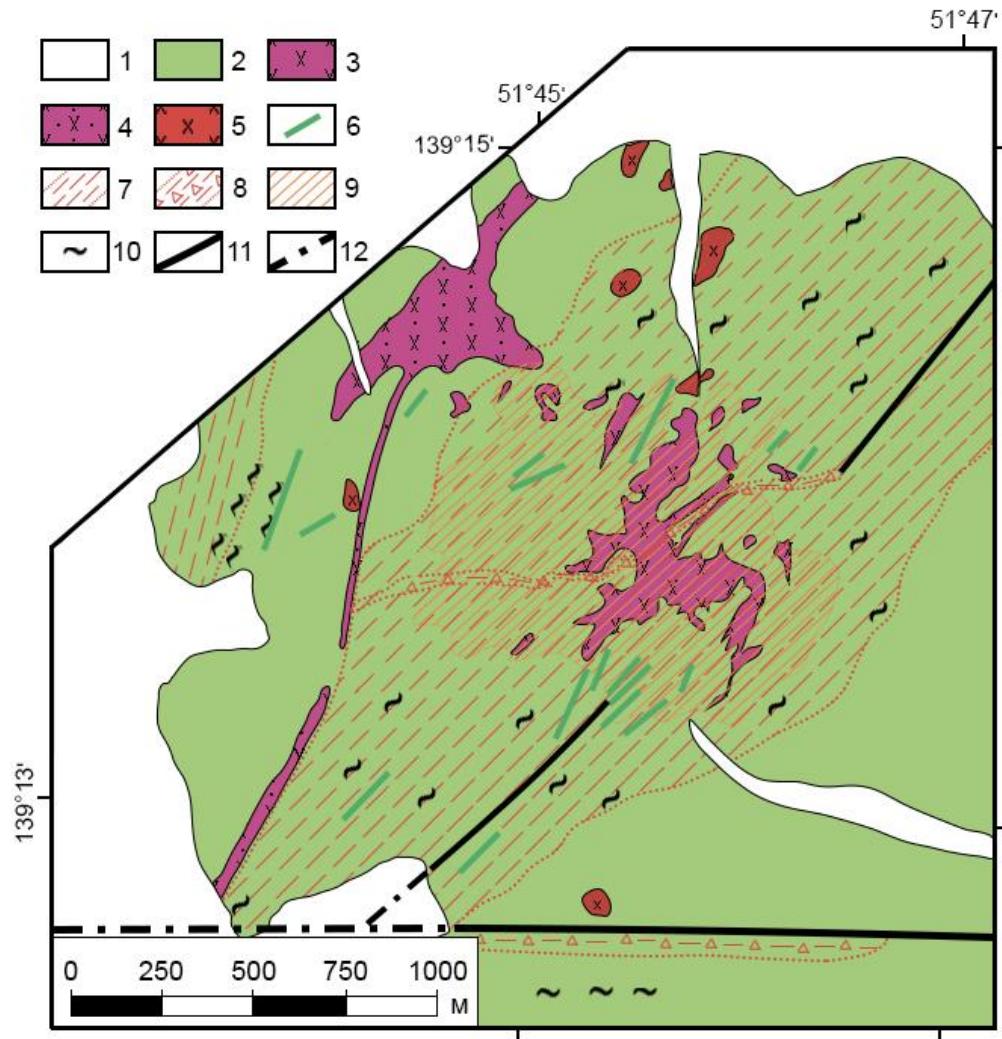


Рисунок 4 – Геологическая карта месторождения Дяппе, по материалам (Дьячков, 1988г.; Чернышёв, 2019) с изменениями и добавлениями. 1 – Четвертичные отложения; 2 – Меловые терригенно-осадочные отложения; 3 – Диориты и кварцевые диориты; 4 – Кварцевые диорит-порфириты; 5 – Гранодиориты; 6 – Дайки и штоки диоритовых и кварцевых диоритовых порфиритов; 7 – Тектониты, зоны смятия; 8 – Тектониты, зоны дробления; 9 – Метасоматиты (серицит-кварцевые); 10 – Кварцевые прожилки; 11 – Разломы установленные; 12 – Разломы скрытые под аллювием

Далее в главе представлено применение структурного фактора для выделения рудных тел. Предшественники для подсчёта запасов проводили оконтуривание зон продуктивной минерализации по крайним рудным интервалам, так как отмечали, что вследствие неравномерного распределения

золота и развития пострудной тектоники на месторождении нет возможности выделить рудные тела в классическом их понимании, где рудное тело представляет собой геологическое образование, отвечающее по содержанию ценных компонентов, мощности и другим показателям, установленным кондициями (Коган, 1974; Чернышёв, 2019).

В рамках проведённого анализа была выдвинута гипотеза о выделении остальных рудных тел конформно Центральной зоне в рамках единой системы трещиноватости под углом 30° - 60° (среднее 45°). Это обусловлено наличием трещиноватости в керне с углами около 90° от оси керна, которая позволяет выделить явную плоскость трещиноватости в пространстве без учёта направленности бурения, и углом бурения 60° .

Корреляционный анализ плотности трещин в керне с содержанием золота показал сильную положительную корреляцию с группой трещин, при котором рудные тела должны залегать под углом 30° - 60° (среднее 45°).

Дополнительными факторами, подтверждающими гипотезу о наклонном залегании рудных тел, являлись выходы рудных тел на поверхность и результат анализа скважин, пробуренных по падению рудных тел, что в свою очередь исключило проблему отсутствия направленности керна.

На основании геолого-структурной модели была построена 3D модель месторождения Дяппе, в которой были выделены 5 рудных доменов (участков), каждый из которых имеет собственные характеристики и выборки данных (рис. 5). Домены выделялись на основе рудных интервалов и особенности структурного контроля. Основополагающим источником параметров, таких как мощности рудного интервала и пустых пород, были кондиции при постановке объекта на баланс (Чернышёв, 2019).

Интерполяция содержаний выполнена методом обратных взвешенных расстояний (IDW). Выбор метода обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, высокая изменчивость содержаний и отсутствие закономерности их распределения не позволяют построить устойчивую и уверенно интерпретируемую модель вариограммы, а гипотеза стационарности в пределах

рудной зоны не является выполненной. В этих условиях кригинг не может быть реализован, поскольку должен опираться на корректную вариограммную модель. Во-вторых, разведочная сеть достаточно равномерна, что дает схожие результаты при оценке обоими методами (Journel et al., 1978; Isaaks et al., 1989; Pyrcz et al., 2014). Как результат, это делает применение более простого и устойчивого IDW обоснованным.

Геологические запасы месторождения при бортовом содержании 0,2 г/т составили 139 тонн золота со средним содержанием 1.15 г/т.

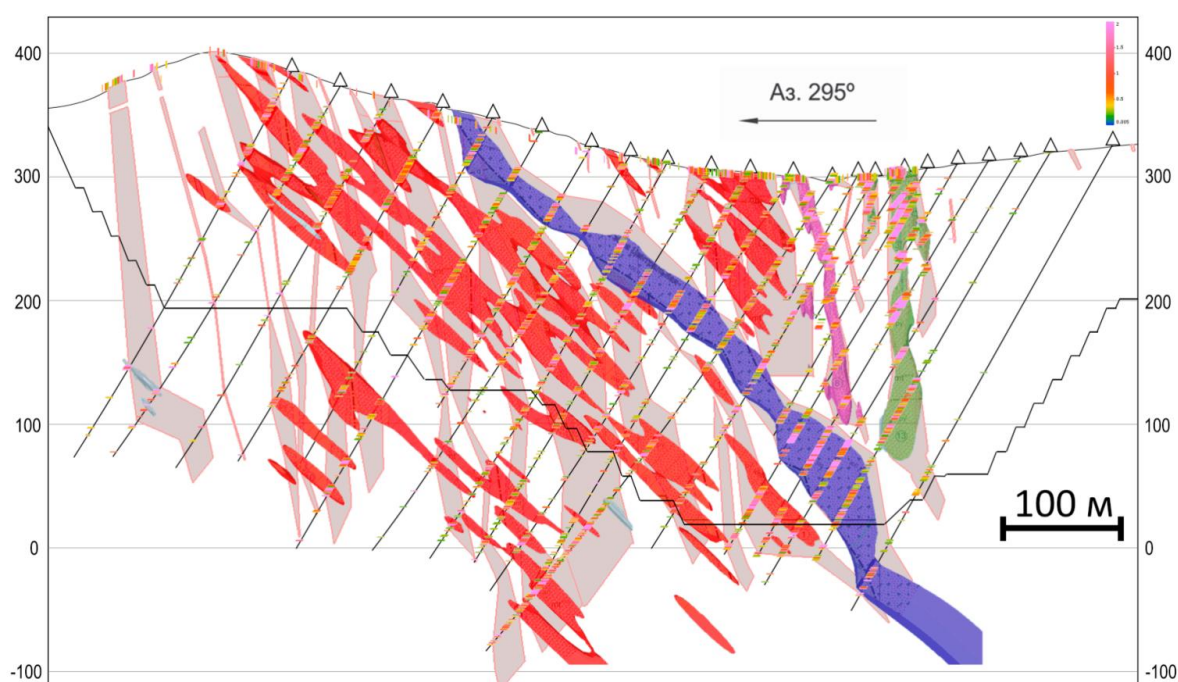


Рисунок 5 – Разрез с наложением переориентированных рудных тел с учётом контроля оруденения структурным фактором (конформно Центральному разлому)

Глава 3. Возможность комплексного подхода к отработке

Третья глава посвящена дополнительному компоненту на месторождении Дяппе - сурьме. С момента открытия в 1935 году месторождение считалось золотосурьмяным. В промежутке 1941-1942 гг. было добыто 15.0 т сурьмы при 30% её содержании, что указывает на высокое качество руды. Однако после проведения последних разведочных работ сурьма не была поставлена на баланс в связи с отсутствием промышленной минерализации (Чернышёв, 2019).

Основной минерал-носитель сурьмы на месторождении Дяппе – антимонит. К настоящему времени единственные задокументированные параметры отрабатываемых жил с антимонитом в 40-ых годах прошлого столетия указаны в отчёте (Суматов, 1940), в котором приведена зарисовка из забоя. На зарисовке представлены гнёзда антимонита в кварцевых жилах мощностью около 30 см (рис. 6).

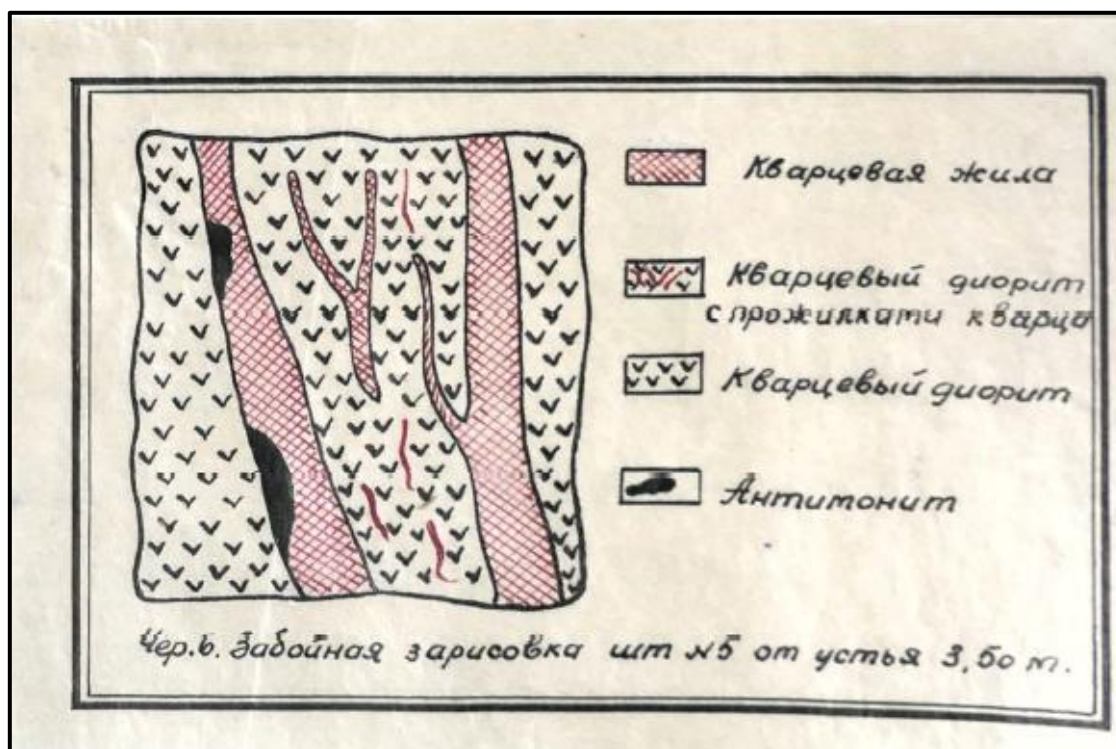


Рисунок 6 – Забойная зарисовка с указанием антимонита в кварцевых жилах
(Суматов, 1940)

Последние разведочные работы, направленные на золото, проводились с использованием сети 40×40 м, что не позволило корректно оценить распределение сурьмы из-за характера распределения и морфологии рудных тел. Средняя длина керна, отбираемого на пробу, составляет метр, в то время как сами гнезда антимонита по одной оси могут достигать размеров до 30 см. Поэтому при отборе пробы из скважины, попавшей в антимонит, содержание сурьмы распределялось на всю длину пробы, что искажало интерпретацию наличия сурьмы в недрах. К тому же вероятность непопадания в гнезда антимонита при текущих параметрах сети очень высока. По этой причине на Дяппе сурьма в значимом количестве (от 0,1%) встречалась лишь в небольшом

количестве проб (до 20). При этом в 5 пробах генеральной выборки значение превышало верхний предел количественного определения ($>1\%$), а анализ соответствующего участка керна указывал на попадание в гнездо антимонита (рис. 7).

Для оценки прогнозных ресурсов было принято решение использовать не объёмную модель, а выделение контуров минерализованных зон на каждом разрезе. Такой подход снижает вероятность необоснованного увеличения количества ресурсов. Расстояние между профилями составляет около 40 метров, а мощность жил около 30 см. В таких условиях соединение контуров между профилями с построением объёмной модели приведёт к некорректной завышенной оценке.



Рисунок 7 – Пересечение скважиной интервала с содержанием сурьмы $>1\%$, оказавшегося жилой с антимонитом, Сква. С-5814, гл. 81.0 м

По результатам оценки по предложенной методике прогнозные ресурсы, предполагаемые для дальнейшего производства флотационного концентрата, достигли порядка 250 т на всей площади месторождения (Лаврик, 2020). Среди них были также выделены 60 т, оконтуренные по содержанию, минимально необходимому для производства крупнокускового концентрата.

Важно отметить факт нахождения сурьмы внутри контура предполагаемого карьера, что даёт возможность её извлечения из недр попутно с золотом без дополнительных затрат, так как затраты по добыче недр уже учтены при отработке золота. Возможно появление незначительных дополнительных затрат на селективную отработку. Форма представления сурьмы в виде гнезд с антимонитом позволяет ей без существенной технологической переработки быть готовым товарным продуктом.

Глава 4. Рудный кластер на базе Дяппе-Спорненского рудного узла

В данной главе представлена методика оценки целесообразности вовлечения нового объекта в совместную отработку в рамках единого кластера, в котором якорным объектом является месторождение Дяппе с его горно-обогатительным комбинатом. В основе методики лежит анализ затрат на транспортировку и горно-геологические параметры рассматриваемого объекта.

На основании проведённого анализа для кластера с Дяппе была построена модель соответствия минимального среднего содержания в товарной руде полезного компонента нового объекта расстоянию её транспортировки для сохранения экономических эффектов (рис. 8).

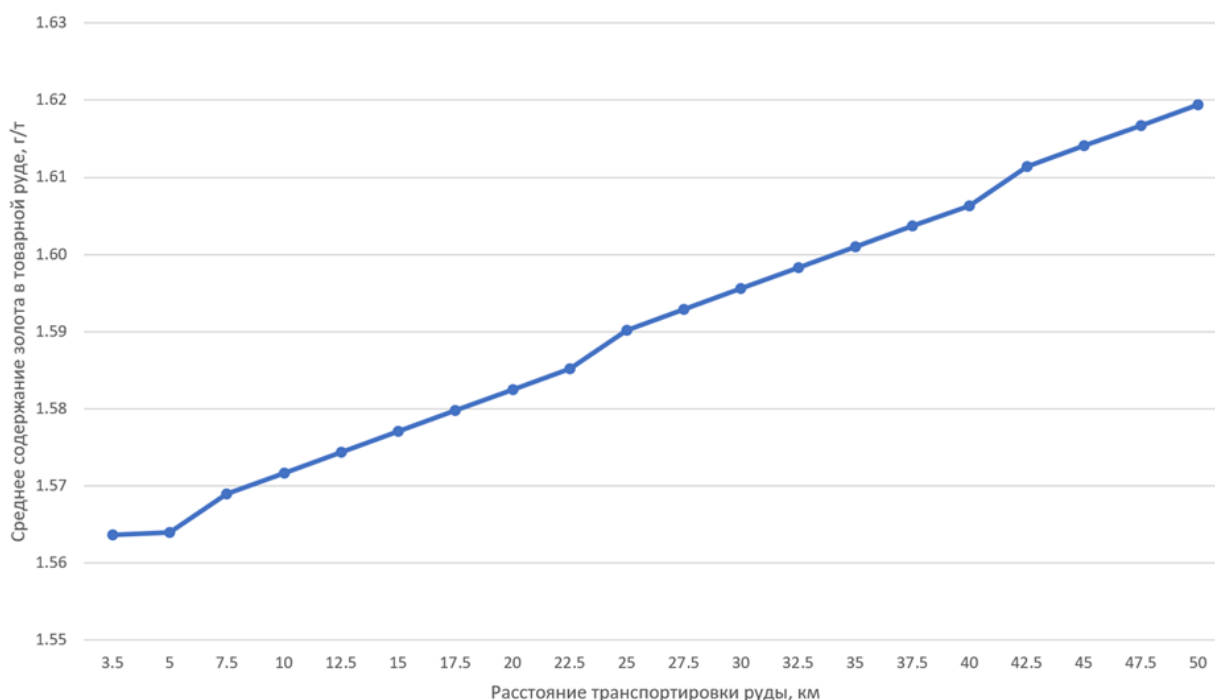


Рисунок 8 – График минимального среднего содержания золота в перевозимой руде нового объекта для сохранения текущего экономического эффекта

В рамках разработки Дяппе как крупного объекта обустраивается вся необходимая инфраструктура и логистика, что при совместном использовании с другими объектами даёт возможность рассматривать эти объекты как дополнение к минерально-сырьевой базе (МСБ), не распределяя на них уже понесенные капитальные затраты.

В пределах рудного узла вокруг Дяппе расположены золоторудные объекты, имеющие схожую геолого-генетическую модель, с совокупными оценёнными ресурсами в десятки тонн золота (рис. 9). Одним из потенциальных объектов является Мартемьяновское месторождение, которое на текущий момент нерентабельно для самостоятельной разработки. Главные факторы, которые ограничивают перспективы отработки, – затрудненная логистика, отсутствие инфраструктуры, а также наличие упорности руд.

Для рассмотрения Мартемьяновского месторождения для совместной отработки в едином кластере после проведения новых этапов разведочных работ среднее содержание золота в товарной руде, согласно представленной методике, должно быть не менее 1,61 г/т. По данным предшественников, среднее содержание в руде составляет 2,6 г/т. Прогнозные ресурсы на Мартемьяновском месторождении оцениваются в 15 т (Никитин, 1987).

При этом, если содержание золота будут выше полученного порогового уровня, то дополнительная прибыль сможет повлиять на снижение бортового содержания самого Дяппе, тем самым переместив часть забалансовых запасов в балансовые, что также увеличит МСБ кластера.

Глава 5. Экономическая переоценка месторождения Дяппе

В данной главе представлена экономическая оценка месторождения Дяппе по базовой и альтернативной концепции. Согласно базовой концепции ТЭО, оценка была проведена при условии продажи золотосодержащего концентрата. Альтернативная концепция подразумевает возведение собственных перерабатывающих мощностей для дальнейшей переработки до сплава доре.

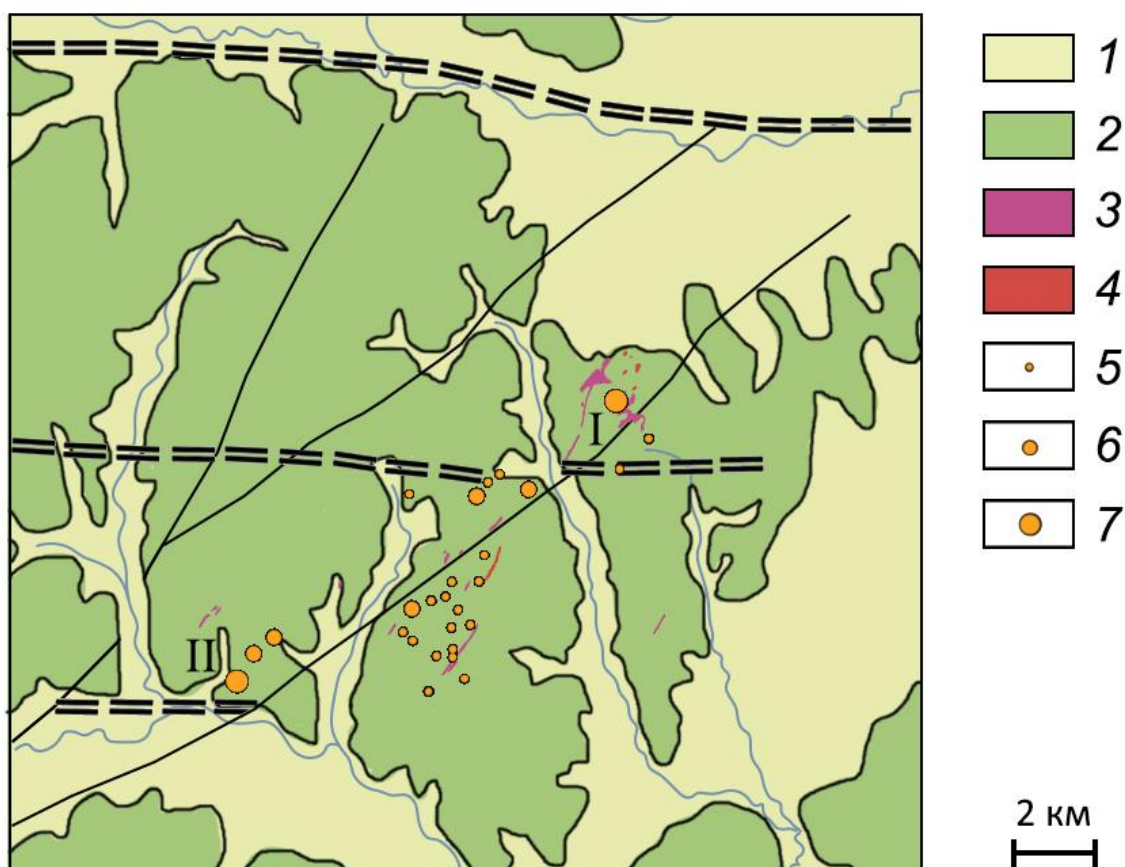


Рисунок 9 – Геологическая и структурно-тектоническая схема Дяппе-Спорненского рудного узла, с изменениями (Дьячков, 1989; Бруско, 1991): 1 – четвертичные отложения; 2 – меловые терригенно-осадочные отложения; 3 – диориты и кварцевые диориты; 4 – гранодиориты; 5 – пункты минерализации; 6 – рудопроявления; 7 – месторождения: I – Дяппе, II – Мартемьяновское

В основу расчёта в данной концепции лёг учёт дополнительной автоклавной переработки полученного концентрата на собственных мощностях, а также перевод электрогенерации от дизельных электростанций на газотурбинные установки.

Основополагающими параметрами новых моделей являются геологические данные, полученные в главе 2. В контур карьера входит лишь 73,3 млн т руды со средним содержанием золота 1,21 г/т, таким образом, запасы, принятые в расчёт, составляют 88,5 т золота.

Вариант финансово-экономической модели на базе концепции ТЭО указывает на возможность получения 178,1 млрд рублей за 18 лет без учёта

дисконтирования. При ставке дисконтирования 10% NPV проекта составит 60,4 млрд рублей, а IRR 36,4%. Срок окупаемости без учёта дисконтирования составит около 5 лет.

Экономическая модель альтернативного варианта указывает на возможность получения 171,8 млрд рублей за 18 лет без учёта дисконтирования. При ставке дисконтирования 10% NPV проекта составит 22,8 млрд рублей, а IRR 13,6%. Срок окупаемости без учёта дисконтирования составит около 8 лет.

Несмотря на снижение NPV, альтернативная концепция может стать целесообразной при вовлечении в совместную отработку близлежащих объектов, таких как Мартемьяновское месторождение.

Инвестиции в собственную технологическую инфраструктуру дают возможность избежать дисконта на переработку золота при продаже концентрата, который с учётом выбранных макроэкономических параметров составляет 300 долл. США за тр. унц.

Инвестиции в собственную энергетическую инфраструктуру позволяют сократить затраты на выработку электроэнергии более чем в 4 раза.

Так, производство на новых объектах даёт возможность экономии практически 190 долл. США за тр. унц.

При суммировании двух показателей итоговая выгода использования альтернативного варианта для новых близлежащих объектов составляет около 500 долл. США за тр. унц., а это практически треть от среднеотраслевых AISC по миру («Ever upwards for AISC», 2025).

Это означает, что при увеличении МСБ каждая дополнительная унция золота при том же среднем содержании в руде будет произведена почти на 500 долл. США дешевле, чем при базовом варианте с продажей концентрата стороннему переработчику и работой на дизельных электростанциях.

Таким образом, альтернативный вариант может быть более привлекательным при вовлечении в совместную отработку дополнительных близлежащих объектов.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе комплексного анализа было установлено, что оруденение контролируется ослабленными зонами, которые объединяются в единую систему трещин с углами падения около 45° от дневной поверхности конформно Центральному разлому. Центральный разлом представляет собой не изолированное позднее нарушение, а индикатор унаследованной проницаемости, что подчёркивает единство процессов рудообразования и тектонической эволюции месторождения. Метасоматические изменения и сопутствующая золотая минерализация приурочены к этим ослабленным зонам, которые служили основными проводниками для рудоносных гидротермальных растворов.

Комплексный анализ структурных, минералогических и геохимических данных позволил уточнить модель месторождения и выявить новые перспективные направления для дальнейших геологоразведочных работ. Предложенная модель с иной морфологией рудных тел (с наклонным залеганием) позволила переоценить геологические запасы в 139 тонн золота при бортовом содержании 0,2 г/т и среднем содержании 1,15 г/т.

Геолого-экономический анализ месторождения Дяппе с учётом новой концепции залегания рудных тел при бортовом содержании 0,2 г/т позволил установить, что проект промышленного освоения с вовлечением в отработку 88,5 т запасов, входящих в контур проектного карьера, является рентабельным и позволяет получить NPV (10%) около 60 млрд рублей.

Анализ исторических данных позволил определить особенность представления сурьмы на Дяппе в виде гнезд с антимонитом, из-за чего результаты буровых работ, направленных на разведку золота, не дали высоких результатов для сурьмы. Построенная модель с подсчитанными ресурсами до 250 т позволяет говорить о пространственной разобщённости золотой и сурьмяной минерализации, что даёт возможность отрабатывать антимонит селективно, попутно с золотом.

Совместная отработка месторождений в едином кластере открывает новые перспективы для вовлечения в отработку мелких и средних объектов, позволяя эффективно использовать их потенциал и продлить общий срок эксплуатации инфраструктуры базового актива.

Так, Мартемьяновское месторождение, считающееся нерентабельным, может быть вовлечено в совместную разработку с Дяппе при среднем содержании золота не менее 1,61 г/т в товарной руде после дополнительной разведки.

Таким образом, осуществляется активное развитие всего района за счет вовлечения в кластер объектов, отработка которых вне кластера была бы нецелесообразной.

Рекомендации по дальнейшей разработке темы

На основании введенных структурных факторов контроля рудных тел предполагается обновлённая программа разведочных работ на Дяппе, позволяющая прирастить минерально-сырьевую базу в основном за счёт соединения рудных тел и минерализованных зон на поверхности на северо-восточной части участка месторождения. Также рекомендуется провести повторные поисково-оценочные работы в Дяппе-Спорненском рудном узле, а технико-экономическое обоснование проводить с учётом предложенной концепции совместной отработки.

Благодарности

Автор выражает свою глубокую признательность научному руководителю Богуславскому Михаилу Александровичу, доценту кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых МГУ, за помощь в выборе темы исследований, методическое и научное руководство, а также за постоянную поддержку.

Автор искренне благодарен Тевелеву Александру Вениаминовичу за помощь и рекомендации, а также Чернышёву Евгению Ивановичу и Жилину Алексею Геннадьевичу за неравнодушие и консультирование.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук:

1. **Кузнецов М.В.,** Богуславский М.А. Геологические особенности месторождения Дяппе (Хабаровский край) и возможности комплексного подхода к отработке // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2026. Т. 65. №2. С. 80-87. EDN: VOIZDE. Импакт-фактор 0,478 (РИНЦ). 1,50 п.л., вклад автора 80%.
Kuznetsov M.V., Boguslavskii M.A. Geological patterns of the Dyappe deposit (Khabarovsk krai) and probabilities of an integrated approach to the development // Moscow University Geology Bulletin. 2026. vol. 81. № 3. Pp. 406–413. EDN: CRYJPR. Импакт-фактор 0,4 (SJR). 0,9 п.л., вклад автора 80%.
2. Богуславский М.А., Вильданов Д.И., **Кузнецов М.В.** Геолого-экономический подход к оценке рудных полей с известным крупным базовым объектом на примере месторождения Дяппе // Недропользование XXI век. 2025. Т. 107. № 2-3. С. 78-87. EDN: QMUMZC. Импакт-фактор 0,333 (РИНЦ). 1,16 п.л., вклад автора 60%.
3. **Кузнецов М.В.,** Богуславский М.А., Вильданов Д.И. Государственные центры по переработке упорных руд как путь организации золотодобычи в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2024. Т. 191. № 6. С. 43-49. EDN: SPUEJF. Импакт-фактор 0,421 (РИНЦ). 1,04 п.л., вклад автора 80%.