

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова
Кафедра геологической съемки, поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых

УДК 553.077

На правах рукописи

Нурмухамбет Даурен Темурулы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра
Оптимизация технологии кучного выщелачивания для извлечения полезных
ископаемых на примере Васильевского золоторудного месторождения
7М07206 – Геология и разведка месторождений твердых полезных
ископаемых

Научный руководитель

PhD, лектор

кафедры ГСПиРМПИ

 М.К. Кембаев

«10» 01 2025 г.

Рецензент

PhD, ассоциированный профессор,

Заведующий лабораторией редких и

редкоземельных металлов, Институт

геологических наук им. К.И. Сатпаева

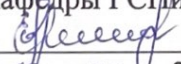
 К.С. Тогизов

«13» 01 2025 г.

Нормоконтролер

PhD, Ассоциированный профессор

кафедры ГСПиРМПИ

 Е.Ж. Маманов

«18» 01 2025 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

ГСПиРМПИ ассоциированный

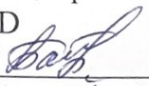
профессор, PhD

 А.О. Байсалова

«14» 01 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева
Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова
Кафедра геологической съемки, поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых
7М07206 – «Геология и разведка месторождений твердых полезных
ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ
ассоциированный профессор, доктор
PhD  А.О. Байсалова
«14» 01. 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Нурмухамбету Даурену Темурұлы

Тема: Оптимизация технологии кучного выщелачивания для извлечения
полезных ископаемых на примере Васильевского золоторудного
месторождения

Утверждена приказом руководителя университета № 1914-М от 12.10.2020 г.
Срок сдачи законченной работы «14» января 2025 г.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) Оценка геологической структуры Васильевского месторождения и влияние геологических особенностей на эффективность процессов добычи золота;
- б) Методы оптимизации процессов выщелачивания золота с учетом минералогического состава руды;
- в) Оценка экономической эффективности внедрения новых технологий переработки золотоносных руд;
- г) Экологические аспекты добычи золота на Васильевском месторождении и методы минимизации экологического воздействия;

Рекомендуемая основная литература:

- 1 Справочник. Месторождения золота Казахстана.
- 2 Отчеты по проведению геологоразведочных работ на месторождениях рудного поля.
- 3 И.В. Бегаев «Проект оценочных работ на золоторудном месторождении Васильевское в Жарминском районе Восточно-Казахстанской области на 2019-21 гг.»

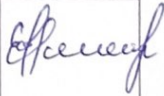
ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультатам	Примечание
Общие сведения о месторождении	01.02.2022	
Геологическое строение месторождения Васильевское	22.02.2022	
Технология кучного выщелачивания	15.10.2024	
Оптимизация процесса кучного выщелачивания	23.10.2024	
Заключение	20.12.2024	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Общие сведения о месторождении	Научный руководитель доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ М.К. Кембаев	20.10.2024	
Геологическое строение месторождения Васильевское	Научный руководитель доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ М.К. Кембаев	15.11.2024	
Технология кучного выщелачивания	Научный руководитель доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ М.К. Кембаев	10.12.2024	
Оптимизация процесса кучного выщелачивания	Научный руководитель доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ М.К. Кембаев	20.12.2024	
Экономическая оценка оптимизированного процесса	Научный руководитель доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ М.К. Кембаев	25.12.2024	
Нормконтролёр	Доктор PhD, Ассоциированный профессор Е.Ж. Маманов	13.01.2025	

Научный руководитель		Кембаев М.К.
Задание принял к исполнению магистрант		Нұрмұхамбет Д.Т.
Дата		«14» января 2025 г.

АНДАТПА

Диссертация Шығыс Қазақстан облысында орналасқан Васильев алтын кен орны мысалында алтын алу үшін үймелі шаймалау технологиясын оңтайландыруға арналған. Жұмыстың негізгі мақсаты-шаймалау тиімділігін арттыру және өндіріс шығындарын азайту әдістерін әзірлеу. Жұмыс ауданның стратиграфиясын, магматизмін, тектоникасын және пайдалы қазбаларын талдауды қамтиды. Технологиялық процестің кезеңдері және тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтардың нәтижелері қарастырылады. Әр түрлі параметрлердің алтын өндіруге әсеріне, тиімділікті арттыру әдістеріне, экологиялық аспектілерге және инновациялық тәсілдерге ерекше назар аударылады. Экономикалық бағалау оңтайландырылған процестің артықшылықтарын көрсетеді, соның ішінде шығындарды азайту және рентабельділікті арттыру. Қорытындыда жетілдірілген технологияларды енгізу бойынша негізгі тұжырымдар мен ұсыныстар, сондай-ақ одан әрі зерттеуге арналған бағыттар бар. Диссертация тау-кен және металлургия саласындағы мамандарға, сондай-ақ шаймалау әдістерін зерттейтін ғылыми қызметкерлер мен студенттерге пайдалы болады.

АННОТАЦИЯ

Диссертация посвящена оптимизации технологии кучного выщелачивания для извлечения золота на примере Васильевского золоторудного месторождения, расположенного в Восточно-Казахстанской области. Основная цель работы — разработка методов повышения эффективности выщелачивания и снижения производственных затрат. Работа включает анализ стратиграфии, магматизма, тектоники и полезных ископаемых района. Рассматриваются этапы технологического процесса и результаты опытно-промышленных испытаний. Особое внимание уделено влиянию различных параметров на извлечение золота, методам повышения эффективности, экологическим аспектам и инновационным подходам. Экономическая оценка демонстрирует преимущества оптимизированного процесса, включая снижение затрат и повышение рентабельности. Заключение содержит основные выводы и рекомендации по внедрению улучшенных технологий, а также направления для дальнейших исследований. Диссертация будет полезна специалистам в области горного дела и металлургии, а также научным работникам и студентам, изучающим методы выщелачивания.

ANNOTATION

The dissertation is devoted to optimizing the technology of heap leaching for gold extraction using the example of the Vasilyevsky gold deposit located in the East Kazakhstan region. The main purpose of the work is to develop methods to increase the efficiency of leaching and reduce production costs. The work includes an analysis of the stratigraphy, magmatism, tectonics and minerals of the area. The stages of the technological process and the results of pilot tests are considered. Special attention is paid to the influence of various parameters on gold extraction, methods of increasing efficiency, environmental aspects and innovative approaches. The economic assessment demonstrates the benefits of an optimized process, including cost reduction and increased profitability. The conclusion contains the main conclusions and recommendations for the implementation of improved technologies, as well as directions for further research. The dissertation will be useful to specialists in the field of mining and metallurgy, as well as researchers and students studying leaching methods.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Общие сведения о месторождении	11
1.1. Географо-экономический очерк	11
1.2. История разведки и добычи	13
1.3. Характеристика месторождения и рудных тел	15
1.4. Гидрогеологические и горнотехнические условия	17
2 Геологическое строение района	19
2.1. Стратиграфия	19
2.2. Магматизм и тектоника	22
2.3. Полезные ископаемые района	24
2.4. Геологическое строение Васильевского месторождения	25
2.5. Характеристика рудных тел и технологические свойства руд	28
3 Технология кучного выщелачивания	32
3.1. Принципы кучного выщелачивания	32
3.2. Этапы технологического процесса	34
3.3. Опытно-промышленные испытания на Васильевском месторождении	35
4 Оптимизация процесса кучного выщелачивания	36
4.1. Влияние параметров процесса на извлечение золота	36
4.2. Методы повышения эффективности выщелачивания	39
4.3. Экологические аспекты процесса кучного выщелачивания	40
4.4. Инновационные подходы и технологии	44
5. Экономическая оценка оптимизированного процесса	47
5.1. Анализ себестоимости и рентабельности	47
5.2. Влияние оптимизации на экономические показатели	48
5.3. Перспективы внедрения оптимизированных технологий	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	52
ПРИЛОЖЕНИЯ	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: Одной из ключевых проблем, стоящих перед золотодобывающей отраслью, является оптимизация процессов извлечения золота из руд с низким содержанием металла. Технология кучного выщелачивания, применяемая для переработки таких руд, представляет собой высокоэффективный метод, однако его потенциал во многом зависит от геологических особенностей месторождения и свойств рудных тел. В связи с этим актуальной задачей является исследование и оптимизация процессов выщелачивания с учетом геологических факторов, таких как минералогический состав, структура руды, а также гидрогеологические условия.

Васильевское золотое месторождение является одним из крупнейших золотоносных объектов Казахстана, где применяется технология кучного выщелачивания. Геологические характеристики этого месторождения — такие как типы руд, содержание золота, минералогический состав и особенности геологического строения — оказывают значительное влияние на эффективность процесса извлечения золота. Таким образом, исследования, направленные на оптимизацию выщелачивания с учетом этих факторов, имеют важное значение как для повышения рентабельности добычи, так и для минимизации экологических рисков.

Цель исследования: Целью настоящего исследования является оптимизация технологии кучного выщелачивания на примере Васильевского золотого месторождения с учетом геологических факторов, влияющих на эффективность извлечения золота. Для достижения этой цели необходимо оценить геологическое строение месторождения, характеристику рудных тел и минералогический состав, а также предложить методы улучшения существующей технологии выщелачивания, которые будут учитывать эти особенности.

Задачи исследования:

1. Оценить геологическую структуру Васильевского месторождения, включая типы руд, минералогический состав и условия их залегания.
2. Исследовать влияние геологических факторов (гранулометрия руды, минералогия, содержание золота) на эффективность процесса кучного выщелачивания.
3. Оценить текущее состояние технологии кучного выщелачивания на Васильевском месторождении и выявить пути её оптимизации с учетом геологических особенностей.

4. Разработать рекомендации для повышения извлечения золота с использованием оптимизированной технологии выщелачивания.

Научная новизна исследования: Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к оптимизации процесса кучного выщелачивания, включающем в себя оценку геологических факторов, влияющих на процесс выщелачивания. Для первого раза на примере Васильевского месторождения предлагается использование более точных геологических моделей для прогнозирования эффективности извлечения золота в зависимости от минералогического состава руды и других геологических характеристик.

Практическая значимость работы: Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных результатов для улучшения технологических процессов на Васильевском месторождении и других аналогичных объектах. Рекомендации, касающиеся оптимизации дозировки реагентов и методов переработки золотоносных руд с учетом их геологической структуры, могут существенно повысить эффективность добычи и переработки золота, а также снизить экологические риски.

Таким образом, данная магистерская диссертация представляет собой важный вклад в развитие технологий извлечения золота из окисленных руд, что способствует не только экономическому росту, но и обеспечению экологической безопасности горнодобывающей отрасли.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 1 статья:

- Нурмухамбет Д.Т., Кембаев М.К., «Геологические особенности строения месторождения Васильевское.», научно-исследовательское издание Казахского Национального Исследовательского Технического Университета имени К. И. Сатпаева «Сатпаевские чтения».

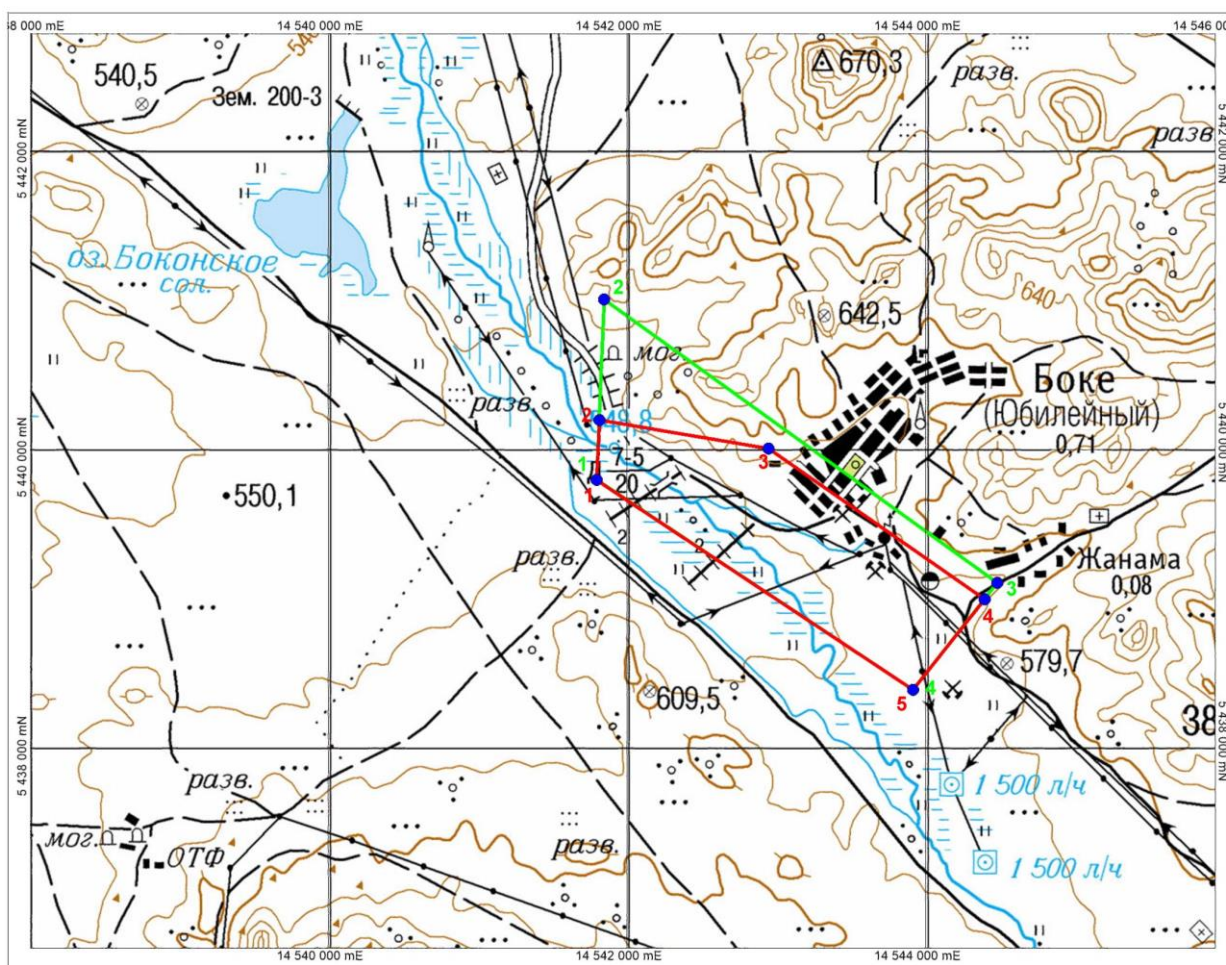
Составная часть и объем магистерской диссертации.

Диссертация написана на 54 страниц компьютерного текстового набора и состоит из аннотации, содержания диссертации, введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы, включающих 15 наименований.

1 Общие сведения о месторождении

1.1. Географо-экономический очерк

Район работ находится в Жарминском районе Восточно-Казахстанской области. Контрактная площадь расположена на территории практически нежилого бывшего рудничного поселка Юбилейный. Поселок Юбилейный находится в 30 км от районного центра, города Калбатау (бывшее село Георгиевка), в 205 км от города Семей и в 165 км от областного центра, города Усть-Каменогорск.



— - Контур геологического отвода

— - Контур горного отвода

Рис.1. Обзорная схема района Контрактной территории.

С районным центром и ближайшей (20 км) железнодорожной станцией Жангиз-Тобе п. Юбилейный связан частично асфальтированной дорогой через п. Акжал. В последнем, на расстоянии 18 км от месторождения Васильевское временно расположена база геологоразведочного участка фирмы-недропользователя[1].

Обзорная схема района Контрактной территории с контурами геологического (разведочный контракт) и горного (добычной контракт) отводов приведена на рисунке 1.

Площадь геологического отвода составляет 2,9 км² и ограничена точками с угловыми координатами:

Координаты угловых точек геологического отвода

	Северная широта	Восточная долгота
1	49°05'21"	81°34'20"
2	49°06'04"	81°34'15"
3	49°04'58"	81°36'32"
4	49°04'35"	81°36'04"

Горный отвод (обозначен красным контуром на рис. 1) с регистрационным № 1157-Д-ТПИ от 15.10.2018 г., предназначенный для добычи окисленных золотосодержащих руд на участке Контакт (в стадии оформления), охватывает площадь 1,985 км² в пределах контура геологического отвода. В границах отвода расположены рудные тела №№ 1–7, при этом планируемая глубина разработки составляет 45–50 м.

Район находится в зоне низкогогорья, которая характеризуется чередованием невысоких хребтов и широких пологих долин. Абсолютные высоты местности варьируются в пределах 530–997,7 м (максимальная отметка — гора Шайтемия), а относительные превышения составляют от 300 до 500 м.

Гидрографическая сеть представлена единственным водотоком — речушкой Бюкуй, которая является левым притоком реки Чар. Ширина русла реки Бюкуй составляет 1,5–2,0 м. В летний период река пересыхает, поэтому для обеспечения питьевых и технических нужд используются подземные воды. Эти воды отличаются повышенной жёсткостью и содержат значительное количество примесей.

Климат района резко континентальный, с большими суточными и годовыми колебаниями температуры, низкой влажностью воздуха и малым количеством осадков, которые составляют 290–300 мм в год. Летний период жаркий и засушливый, с максимальными температурами до +35...+40 °С. Зимой температура может снижаться до -40 °С. В районе преобладают постоянные юго-восточные ветры, которые иногда достигают ураганной силы. Глубина промерзания грунтов составляет 1,0–1,5 м.

Растительность района включает смешанные типы степной и полупустынной зон, представленные в основном травами (ковыль, кипчак, полынь и различные виды солончаковых растений) и кустарниками (карагайник, шиповник, ивняк). Животный мир сравнительно беден и включает архаров, волков, зайцев и лисиц.

Электроснабжение объектов района осуществляется от Бухтарминской ГЭС, через железнодорожную станцию Жангиз-Тобе проходит высоковольтная линия электропередачи (220 килвольт).

Основным занятием населения является сельское хозяйство, преимущественно отгонное животноводство. Добыча золота, ранее развитая на рудниках Юбилейный (месторождение Васильевское) и Акжал (Акжалская группа месторождений), в настоящее время почти полностью прекращена, за исключением небольшого объема добычи окисленных руд в окрестностях поселка Акжал для их переработки методом кучного выщелачивания[1].

1.2. История разведки и добычи

В этом разделе будет рассмотрена история разведки и добычи золота на Васильевском месторождении, начиная с первых геологических исследований и заканчивая современными методами добычи. Изучение истории разведки и эксплуатации месторождения позволяет понять эволюцию технологий, используемых для извлечения золота, а также оценить значимость месторождения в экономике региона и страны в целом.

Первоначальные исследования.

Первая геолого-разведочная работа на Васильевском месторождении началась в конце 1930-х годов, когда в регионе была проведена серия геофизических и геохимических исследований, направленных на выявление перспективных мест для золотоносных месторождений. Однако из-за ограниченных технологий и отсутствия подробных геологических данных работа была затруднена. Первоначально внимание уделялось не только золоту, но и другим полезным ископаемым, что сказывалось на точности разведки.

Первая информация о наличии золота на территории Васильевского месторождения была получена в 1950-х годах, когда геологами была обнаружена аномалия золота в руде на поверхности. Уже в это время начали разрабатываться методы оценки золотоносности залежей, и первые результаты подтвердили наличие значительных запасов золота в данной географической области.

Геолого-разведочные работы.

В 1960-х годах были проведены более масштабные геолого-разведочные работы, включая буровые исследования и геофизические методы. В результате этих исследований было получено более детальное представление о геологической структуре месторождения и о характеристиках рудных тел. Разведка позволила выделить несколько основных золотоносных объектов на территории месторождения, что стало основой для разработки проекта по строительству шахт и карьерного хозяйства.

На протяжении 1970-х годов были проведены дополнительные изыскания, в ходе которых определены точные контуры золотоносных руд и установлены их характеристики. Благодаря этим исследованиям месторождение было признано одним из крупнейших в Казахстане и перспективным объектом для промышленной добычи золота[2].

Развитие добычи в советский период.

Строительство первого золотодобывающего предприятия на Васильевском месторождении началось в начале 1980-х годов. В этот период была установлена первая линия по переработке руды, а также запущены установки для извлечения золота методом амальгамирования, который был популярным в то время. С увеличением объемов добычи и переработки золота началась модернизация оборудования, а также внедрение новых методов, таких как цианидное выщелачивание, которое с тех пор стало основной технологией переработки золотоносных руд на Васильевском месторождении.

В период с 1980-х по 1990-е годы добыча золота на месторождении значительно увеличилась. Эксплуатация месторождения была стабильной, и Васильевское месторождение стало одним из крупных источников золота для Советского Союза.

Постсоветский период и модернизация.

После распада Советского Союза и перехода к рыночной экономике Васильевское месторождение оказалось в центре внимания новых инвесторов. С начала 2000-х годов началась полная модернизация добывающего комплекса, включая внедрение современных технологий переработки, таких как кучное выщелачивание и использование активного угля для извлечения золота. Эти изменения позволили значительно повысить эффективность извлечения золота и снизить затраты на переработку.

В этот период была также проведена масштабная работа по расширению площади карьерного хозяйства, что позволило значительно увеличить объем добычи и переработки руды. Были проведены работы по улучшению экологической безопасности, включая внедрение методов очистки сточных вод и утилизации отходов[2].

Современная эксплуатация.

На сегодняшний день Васильевское месторождение продолжает оставаться одним из самых крупных золотоносных объектов в Казахстане. В настоящее время месторождение эксплуатируется с применением самых современных технологий, включая автоматизированные системы управления и мониторинга. В процессе добычи активно используются инновационные методы переработки руды, такие как био- и цианидное выщелачивание, что позволяет значительно повысить коэффициент извлечения золота.

Кроме того, на современном этапе разработки месторождения активно используются методы геолого-экономического моделирования для оценки запасов золота и прогнозирования его добычи, что позволяет эффективно управлять ресурсами и минимизировать затраты.

Перспективы.

С учетом текущих тенденций в золотодобывающей промышленности, Васильевское месторождение продолжает оставаться одним из самых значимых объектов для Казахстана в контексте производства золота. Перспективы развития включают дальнейшую оптимизацию технологических процессов, расширение производственных мощностей и внедрение новых методов переработки руды, что позволит еще более эффективно извлекать золото из руды.

В долгосрочной перспективе планируется продолжение улучшения экологической безопасности работы на месторождении, внедрение современных методов рекультивации земель и минимизация воздействия на окружающую среду.

Таким образом, история разведки и добычи на Васильевском месторождении демонстрирует успешную эволюцию технологии и методов добычи золота, что позволяет оценить его как один из стратегически важных объектов для экономики региона.

1.3 Характеристика месторождения и рудных тел

Месторождение включает несколько рудных тел, наиболее значимые из которых — рудные тела №1 и №2. Золотоносные кварцевые жилы локализованы в зоне Северо-Боконского надвига, контролируемой северо-восточными зонами растяжения. Рудные тела Васильевского месторождения расположены на глубинах от нескольких десятков до сотен метров. Руды месторождения имеют разнообразное геологическое строение, и их добыча и переработка требуют применения различных методов. Основные рудные тела

на месторождении имеют форму слоистых залежей, которые могут быть как тонкослоистыми, так и более массивными.

Характеристики рудных тел:

- **Глубина залегания:** Руды месторождения расположены на различных глубинах, с большей концентрацией рудных тел в поверхностных слоях, что упрощает добычу окисленных руд. Однако для более глубоких участков необходимы современные технологии добычи.
- **Размеры рудных тел:** Рудные тела имеют разнообразные размеры, варьирующие от малых вкрапленных залежей до крупных массивных тел. Это требует использования разнообразных методов и технологий для извлечения золота.
- **Геологическая неоднородность:** В результате геологических процессов, таких как тектонические движения и выветривание, руды месторождения обладают высокой неоднородностью. Это влияет на состав и текстуру руд, что, в свою очередь, оказывает влияние на выбор методов переработки.

В период с 2015 по 2017 годы геологоразведочные работы на Васильевском месторождении выполняло ТОО «ГМК Васильевское». Виды и объемы работ, выполненные на месторождении за этот период приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Виды работ	К-во профилей	К-во выработок	Объем, м	Средняя глубина (длина), м	К-во проб
Бурение RC	11	12	704	58.7	822
Пневмобурение	11	49	373.5	7.6	175
Канавы	43	49	3190.2	65.1	4131
карьер 2 (линии бороздового опробования)	14	14	309.9	28.2	389
Скважины колонковые	56	112	7663	68.4	7469
Скважины технологические	9	14	2185	156.1	2166

В ходе проведенных работ зона окисления Васильевского месторождения была полностью разведана по всей её протяжённости. Были детально изучены технологические характеристики окисленных руд, разработан и внедрён технологический регламент их переработки методом кучного выщелачивания. Для реализации данного процесса построена промышленная установка с производственной мощностью 500 тыс. тонн руды в год, и начата опытная эксплуатация месторождения с целью отработки

технологии переработки окисленных руд. Впервые были составлены и утверждены Государственной комиссией по запасам Республики Казахстан (ГКЗ РК) промышленные кондиции для окисленных руд, а также выполнен подсчёт запасов по категориям C1 и C2 в пределах зоны окисления (протокол ГКЗ РК № 1869-17-У от 14.11.2017 г.)[1].

Параметры утверждённых промышленных кондиций для окисленных руд Васильевского месторождения:

- **Бортовое содержание золота в пробе – 0,3 г/т;**
- **Минимальное промышленное содержание золота в подсчётном блоке – 1,3 г/т;**
- **Минимальное содержание золота для сопутствующих линз в контуре карьера – 0,8 г/т;**
- **Минимальная мощность рудных пересечений, включаемых в контур подсчёта запасов – 2,0 м. В случаях, когда мощность меньше 2,0 м, но содержание золота выше, рекомендуется использовать соответствующий метрограмм;**
- **Максимальная мощность прослоев пустых пород или некондиционных руд, включаемых в контур подсчёта запасов – 5,0 м.**

Результаты подсчета запасов приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Запасы окисленных руд Васильевского месторождения по Протоколу ГКЗ РК № 1869-17-У от 14.11.2017 г

Категория запасов	Руда, тыс.т	Среднее содержание Au, г/т	Золото, кг
Окисленные руды			
C ₁	568,7	1,82	1036,1
C ₂	1289,7	1,69	2180,0
C ₁ +C ₂	1858,4	1,73	3216,2
C ₂ заб	249,9	0,83	208,4

1.4 Гидрогеологические и горнотехнические условия

Гидрогеологические условия.

Гидрогеологические условия района Васильевского месторождения относительно просты. Гидрографическая сеть представлена одной речкой — Бюкуй, которая является левым притоком реки Чар. Речка пересыхает в летнее время, и для технических нужд используются грунтовые воды.

Грунтовые воды залегают на глубине от 10 до 30 м и характеризуются повышенной жесткостью и загрязненностью, что требует дополнительных мер по их очистке при использовании для технологических нужд. Вода используется для питьевых и технических целей, в том числе для процессов кучного выщелачивания. В летний период уровень грунтовых вод может значительно снижаться, что требует учета при планировании добычных работ.

Горнотехнические условия.

Горнотехнические условия месторождения характеризуются следующими аспектами:

1. **Рельеф и ландшафт:** Район относится к области низкогорья с чередованием невысоких возвышенностей и широких пологих долин. Абсолютные отметки колеблются от 530 до 997,7 м, а относительные превышения составляют 300-500 м.
2. **Горные выработки:** На месторождении используются как открытые, так и подземные способы добычи. Основные подземные выработки включают шахты, стволы и штреки, пройденные до глубины 315 м. Открытые выработки представлены карьером, достигшим глубины 50 м. Шахта №4 и разведочно-эксплуатационный ствол РЭШ-1 использовались для вскрытия и разработки рудных тел.
3. **Система добычи:** Применяются системы слоевых заходок с обрушением кровли, что позволяет эффективно извлекать руду и минимизировать потери. Высота эксплуатационного этажа составляет 40 м, что обеспечивает стабильные условия работы и безопасность для горняков.
4. **Оборудование и инфраструктура:** На месторождении внедрены современные буровые установки, системы вентиляции и водоотлива, что позволяет поддерживать высокую производительность добычных работ и обеспечивать безопасность.

Техногенные факторы.

В процессе длительной эксплуатации месторождения накопилось значительное количество техногенных факторов, которые оказывают влияние на текущие и будущие работы:

- **Изменение уровня грунтовых вод:** Многочисленные горные выработки и карьеры влияют на гидрогеологический режим, что требует постоянного мониторинга и регулирования водоотлива.
- **Окисление и выщелачивание:** Интенсивное выщелачивание в зонах окисления руд привело к формированию вторичных минералов и изменению химического состава рудных тел.

- **Рекультивация:** Необходимость рекультивации отработанных площадей и шахт для минимизации экологического воздействия на окружающую среду.

Эти факторы должны учитываться при планировании дальнейших горно-добычных и выщелачивающих работ на Васильевском месторождении.

2 Геологическое строение района

2.1 Стратиграфия

Стратиграфия региона Васильевского месторождения представлена разнообразными геологическими слоями, которые имеют различные возрастные и литологические особенности. Эти отложения образуют сложную геологическую структуру, имеющую важное значение для понимания процесса формирования рудных тел и их локализации.

Карабайская толща (D3 fm2).

Карабайская толща, относящаяся к среднему фамена (D3 fm2), состоит из кремнисто-вулканогенных отложений, представленных покровами базальтов, андезибазальтов, андезитов, пирокластами и тонкополосчатыми яшмами. Наблюдаются среднезернистые туфопесчаники и пластовые пелитоморфные известняки. Доминируют кремнистые разности, что свидетельствует об удалении области осадконакопления от береговой линии и ее глубоководности[3].

Аркалыкская свита (C1 v 2-3 ar).

Средне-верхневизейская аркалыкская свита залегает на карабайской толще и состоит из вулканогенно-осадочных и известково-терригенных отложений. Свита подразделяется на две толщи. Нижняя толща состоит из вулканогенно-осадочных пород: туфопесчаников, туфогравелитов, полимиктовых и кремнистых песчаников, кремнисто-глинистых алевролитов, лав андезитов и туфов, реже андезибазальтов. В основании толщи встречаются линзы органогенных известняков с фауной криноидей, мшанок и брахиопод. Верхняя толща сложена известково-терригенными отложениями. В её основании находятся конгломераты и туфоконгломераты, которые сменяются гравелитами, песчаниками и алевролитами. На верхнем уровне выделяются углистые и углисто-глинистые алевролиты с желваками и линзами пелитоморфных битуминозных известняков.

Аганактинская свита (C1s ag).

Серпуховская аганактинская свита залегает с угловым несогласием на аркалыкских отложениях и состоит преимущественно из песчанистых флишоидных терригенных пород. Свита делится на две подсвиты: нижнюю, грубослоистую, песчанистую, и верхнюю, флишоидную, алевролитовую.

Ископаемые органические остатки встречаются редко и сосредоточены в верхних горизонтах. Фауна представлена морскими организмами: брахиоподами, мшанками, гониатитами, гастроподами и пелициподами.

Буконьская свита (C2 bk).

Отложения среднего карбона, объединённые в буконьскую свиту (C2 bk), залегают с угловым несогласием на аганактинской свите. В основании разреза буконьской свиты расположены разнотермические полимиктовые песчаники и конгломераты (валунно-галечные и гравийно-галечные), а также прослои углито-глинистых и глинистых алевролитов с линзами известняков и известковистых песчаников. В этих отложениях обнаруживаются остатки растительного детрита, фрагменты стеблей и коры, а также, реже, фрагменты криноидей, брахиопод и мшанок.

В верхней части разреза выделяется слой светло-серых и зеленовато-серых субаркозовых и полимиктовых песчаников, иногда гравелитов, с прослоями глинистых и углито-глинистых алевролитов. Завершающий горизонт свиты сложен известковистыми песчаниками и алевролитами с высокой концентрацией углистого вещества. Формирование этих отложений происходило в континентальных условиях в лимнических бассейнах. Общая мощность буконьской свиты составляет 3500–4000 м[3].

Даубайская свита (C3 db).

Вулканогенно-осадочные отложения даубайской свиты (C3 db) приурочены к тектоническим депрессиям (грабенам), образовавшимся в постколлизийный этап. Эти отложения залегают с выраженным угловым несогласием на породах нижнего и среднего карбона. В районе отсутствуют более молодые палеозойские и мезозойские образования. Ископаемых остатков фауны в осадочных породах свиты не выявлено.

Даубайская свита состоит из двух толщ: пестроцветной и сероцветной. Пестроцветная толща подразделяется на две пачки: нижнюю вулканогенно-осадочную и верхнюю вулканогенную. Сероватая толща залегает с разрывом на различных горизонтах пестроцветной толщи. Её нижний слой преимущественно представлен гравелито-песчанистыми породами, а верхний – более грубообломочными отложениями с двумя горизонтами базальтовых лав.

Вулканогенная часть разреза включает лавы, лавобрекчии и туфы андезитов, андезибазальтов и базальтов. В верхних слоях наблюдается преобладание более кислых пород, таких как андезидациты, дациты и риодациты, а также встречаются небольшие экструзии риодацитов и риолитов.

Мезозойские коры выветривания.

Мезозойские коры выветривания образовались на палеозойских осадочных и магматических породах и перекрыты неоген-четвертичными отложениями. На вершинах сопок и крутых склонах коры местами выходят на поверхность. В зависимости от условий залегания и строения коры

выветривания подразделяются на площадные и линейно-трещинные морфологические типы. Химический состав кор относится к сиалитовому типу, а минералогический — к каолинит-гидрослюдистому.

Площадные коры выветривания имеют зональное строение, в котором выделяются следующие зоны (от основания к поверхности):

1. **Материнская порода** — неизменённые породы.
2. **Зона дезинтеграции** — выщелоченные и трещиноватые породы, сохраняющие текстуру и структуру исходных пород.
3. **Зона глинистых образований** — породы сложного состава с признаками текстуры материнских пород.
4. **Зона цветных каолинов и охр** — участки с редкими реликтами структур исходных пород.
5. **Зона обелённых каолинов** — породы, утратившие текстурные и структурные признаки (бесструктурные коры).

Полный профиль выветривания с перечисленными зонами наблюдается в депрессиях домезозойского рельефа. На возвышенных участках сохраняются только нижние зоны коры. Состав и свойства кор зависят от типа исходных пород, что позволяет выделить коры выветривания алюмосиликатных, силикатных (габброидов) и карбонатных пород, а также зоны окисления рудных тел. Мощность площадных кор варьируется от 15 до 40 м[4].

Линейные коры выветривания образуются вдоль крупных тектонических разломов и зон дробления. Их строение аналогично площадным корам и также включает пять зон. В местах разложения сульфидов формируется кислая среда, которая ускоряет образование кор. Мощность линейных кор может достигать 60–70 м. Золото встречается во всех горизонтах линейных кор, но в приповерхностной зоне выщелачивания его содержание на 1,5–3 раза ниже, чем в глубинных золотосульфидных зонах.

Возраст кор выветривания, по результатам исследований (Кузьмин, 1971; Денисенко, 1984), относится к меловому периоду, однако предполагается, что процессы их формирования могли начаться раньше — в среднем или нижнем триасе, завершившись к концу мела или в начале палеогена.

На территории района также распространены кайнозойские отложения, представленные неогеновыми и четвертичными образованиями, которые покрывают около 20–30% площади. Эти отложения залегают в речных долинах, межгорных впадинах и на пенепленизированных участках, образуя неравномерный покров.

Неогеновые отложения сформировались в результате разрушения кор выветривания и последующего переотложения осадков в озерно-лагунных бассейнах. Основное распространение они получили в долинах рек и подразделяются на аральскую и павлодарскую свиты. Мощность неогеновых отложений составляет от 30 до 90 м.

Четвертичные отложения представлены глинами, супесями, суглинками, песками и галечниками. Они заполняют пониженные участки рельефа, образуют речные террасы и конусы выноса. Мощность четвертичных отложений варьируется от 40 до 70 м.

2.2 Магматизм и тектоника

Магматические образования на рассматриваемой территории развиты слабо. Крупнейшие интрузивные массивы принадлежат Чарско-Горностаевскому офиолитовому комплексу, который расположен на северо-востоке, за пределами Контрактной площади. Эти массивы представлены серпентинизированными ультрамафитами в виде протрузий и линзовидными телами габброидов. На самой Контрактной площади небольшие тела лиственитизированных серпентинитов локализуются исключительно в зоне Боконского разлома и в его трещиноватых участках.

По данным исследований Ермолова П.В. и современных изотопных анализов, офиолиты сформировались в позднекембрийское время, примерно 520–530 млн лет назад[5].

Аргимбайский гипабиссальный интрузивный комплекс (СЗ) представлен крупными интрузивными массивами и дайковыми поясами, однако на Контрактной площади встречается в ограниченном объёме. Формирование комплекса происходило в две фазы:

- **Первая фаза** включала пироксеновые габбро, габбро-диориты, диориты, диоритовые порфириты, а также редкие пироксениты, монцониты, монцодиориты и кварцевые диориты.
- **Вторая фаза** представлена дайками и мелкими силлами, сложенными диоритами, диоритовыми порфиритами, габбро, габбро-диоритами и диабазами.

Особенностью данного комплекса является его преимущественно однофазная структура с преобладанием силлообразных интрузивных тел. Наиболее распространены дифференциаты габбро-диоритовой группы, реже встречаются ультраосновные и диоритовые разновидности. Предполагается, что формирование комплекса происходило в гомодромной последовательности, начиная с ранних ультраосновных пород и завершая поздними диоритами.

Салдырминский субинтрузивный комплекс (СЗ–Р1) представлен как крупными массивами, так и небольшими штоками и дайками. Формирование комплекса происходило в две фазы:

- **Первая фаза** характеризуется крупными массивами гранодиоритов и гранодиорит-порфиров, а также реже встречающимися диоритовыми порфиритами, кварцевыми диоритами и гранитами.

- **Вторая фаза** включает мелкие дайки и силлы, сложенные гранодиорит-порфирами и гранит-порфирами.

Большая часть интрузивных образований относится к гранодиоритовой группе, интрузии гранитной группы встречаются реже. Порфировая текстура свидетельствует о том, что формирование комплекса происходило на небольшой глубине (примерно 0,5–1,5 км). Интрузивные тела комплекса пространственно и генетически связаны с карбонат-кварцевыми жилами, а также зонами березитизации и лиственитизации.

Тектоника района.

Структурно-тектоническое строение района сложилось в герцинскую тектоно-магматическую эпоху, в течение которой сформировались основные складчатые и разрывные структуры. В дальнейшем, в мезо-кайнозойский период, эти структуры претерпели дополнительные изменения в результате тектонических процессов.

Крупнейшими складчатыми элементами района являются Сарджальская и Карасуйская вулкано-тектонические грабен-синклинали, разделённые Акдынгекской антиклиналью. Вулканогенные породы даубайской свиты составляют основную часть этих грабен-синклинальных структур:

- **Сарджальская грабен-синклиналь** вытянута вдоль северо-западного направления на 27 км, достигая максимальной ширины 6 км. С юго-западной стороны её ограничивает Боконский надвиговой разлом.
- **Карасуйская грабен-синклиналь** также имеет северо-западное простирание, с длиной более 25 км и шириной крыльев до 10 км. Падение крыльев пологое, с частыми ундуляциями.
- **Акдынгекская антиклиналь** характеризуется близширотным простиранием и совпадает с зоной Акдынгекского разлома.

Основные разрывные структуры района представлены Сарджальским и Боконским разломами:

- **Сарджальский разлом** простирается в северо-западном направлении с азимутом 340°, его сместитель падает на юго-запад под углом 70°. Разлом служит границей между Жарминским синклинорием и Чарско-Горностаевским антиклинорием. Смещение вдоль разлома составляет около 1000 м, при этом юго-западный блок опущен.
- **Боконский разлом** тянется вплоть до места пересечения с Сарджальским разломом, образуя с ним единую зону. По Боконскому разлому произошёл надвиг боконских отложений на вулканогенные породы даубайской свиты Сарджальской грабен-синклинали. Угол падения сместителя составляет 50–60° в юго-западном направлении. Структура разлома характеризуется системой сближенных разрывов, сопровождающихся интенсивным дроблением, расланцеванием и смятием пород.

К Боконскому разлому приурочены протрузии ультрабазитов чарского комплекса, малые интрузивные тела аргимбайского и салдырминского комплексов, а также зоны березитизации, лиственитизации и кварцевые жилы с арсенопирит-пиритовой минерализацией. С этим разломом связаны крупнейшие промышленные месторождения и рудопроявления золота, включая Васильевское, Колорадо, Футбольную зону, Акжал, Токум и другие. На протяжении герцинского цикла и в субплатформенный альпийский период Боконский разлом оставался самой активной и проницаемой тектонической зоной региона.

2.3 Полезные ископаемые района.

Основным полезным ископаемым района является золото, и здесь выявлено около 75 месторождений и рудопроявлений. Основные объекты золоторудной минерализации представлены двумя типами месторождений: минерализованных зон в черносланцевых формациях и жильных зон бедно-сульфидного золото-кварцевого типа. Большинство месторождений и проявлений золота приурочено к зоне Боконского регионального разлома, формируя Акжал-Боконский рудный район. В пределах этого района выделяются два основных рудных поля:

- **Бoko-Васильевское**, включающее наиболее крупные месторождения типа минерализованных зон.
- **Акжальское**, где основные запасы золота сосредоточены в жильных и штокверковых зонах золото-кварцевого типа.

К месторождениям, принадлежащим к типу минерализованных зон в черносланцевых формациях, относятся Васильевское, Токум, Южное, Койтас, месторождение № 15 (Жинишке), зона Игрек, Футбольная и другие. Васильевское месторождение будет подробно рассмотрено далее.

Типичным представителем золото-кварцевого типа является месторождение **Акжал**, имеющее средние размеры. Здесь золотое оруденение сосредоточено в минерализованных зонах рассланцевания и дробления, пересечённых кварцевыми штокверками с короткими кварцевыми жилами. Рудные тела имеют форму уплощённых линз, причём наиболее богатые золотоносные участки связаны с кварцевыми жилами, расположенными в гранодиоритовых интрузиях.

С интрузивными образованиями аргимбайского и салдырминского комплексов связаны мелкие проявления меди, локализованные в зонах дробления (Чудское, Аргимбай, Тиекпай и другие). Длина оруденелых зон составляет 100–200 м, при мощности до 15 м. Минерализация в основном представлена малахитом, реже встречаются халькопирит и азурит. Содержание золота в этих зонах колеблется от 0,1 до 0,5 г/т, иногда достигая 3,2 г/т. Однако, ввиду небольших масштабов оруденелых зон, эти объекты не представляют промышленного интереса[7].

На территории района известны две мелкие россыпи золота – ложкавая и долинная, которые были полностью выработаны старателями.

Кроме того, в районе обнаружены древние морские погребённые россыпи, представленные ильменитовыми песчаниками, которые относятся к отложениям аркалыкской свиты. Эти песчаники выходят на поверхность в зоне контакта с Аргимбайским диоритовым массивом, формируя небольшое **Сократовское месторождение**. Рудная пачка включает три горизонта титаномagnetитовых песчаников общей мощностью 2–3 м, которые прослеживаются на протяжении 800 м. Содержание рудных компонентов в песчаниках следующее:

- Fe_2O_3 – 10–58%,
- FeO – до 41%,
- TiO_2 – 8–19%,
- V_2O_5 – 0,1%,
- Ga_2O_3 – 0,01–0,02%.

2.4 Геологическое строение Васильевского месторождения.

Васильевское месторождение расположено в центральной части Бoko-Васильевского рудного поля, охватывая участок длиной 2,6 км и шириной 100–300 м вдоль Северо-Боконского разлома. Геологическое строение месторождения включает осадочные породы буконьской свиты среднего карбона, которые были надвинуты по линии Северо-Боконского разлома на вулканические породы даубайской свиты верхнего карбона, формирующие Сарджальскую грабен-синклиналь. Осадочные и вулканогенные породы прорезаны интрузиями аргимбайского и салдырминского комплексов верхнего палеозоя и нарушены северо-восточными разломами, которые разделяют месторождение на ряд тектонических блоков[6].

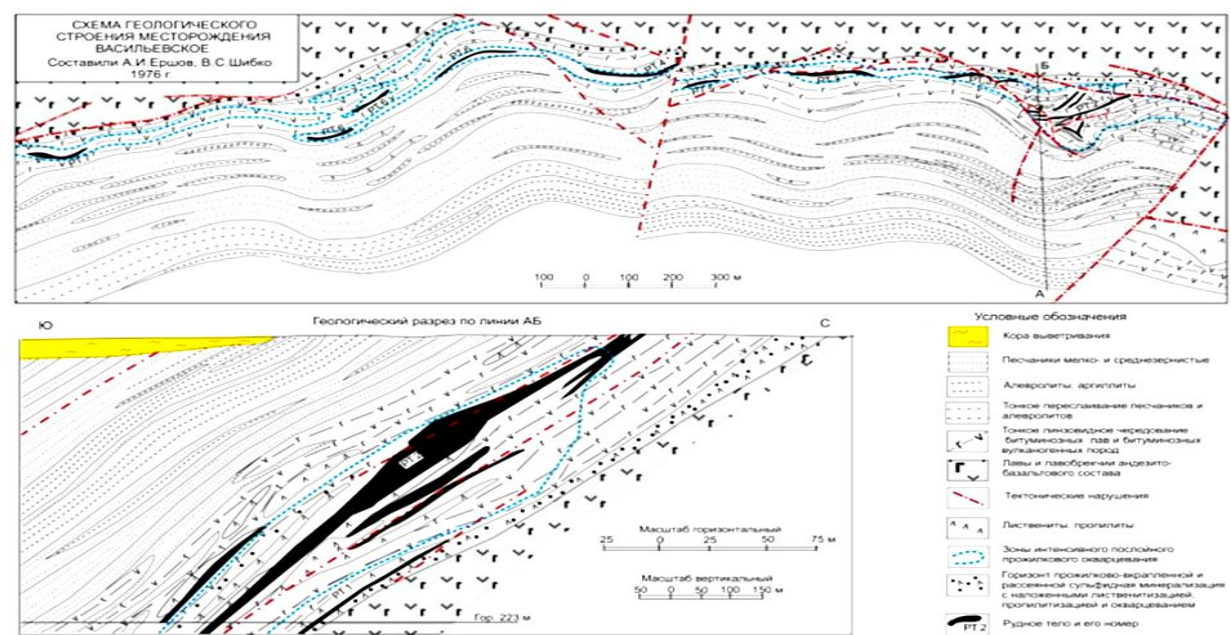


Рисунок 2.1 - Схема геологического строения месторождения Васильевское

Рудовмещающие породы Васильевского месторождения представлены верхними слоями буконьской свиты, образованными флишоидным переслаиванием углеродистых известковистых алевролитов и песчаников. Основную часть разреза составляют тонкозернистые литофации. Толщина прослоев песчаников варьируется от нескольких сантиметров до 60 м, а алевролитов — до 110 м. Породы условно разделены на две группы:

- **Песчаниковая группа**, включающая средне- и мелкозернистые песчаники и алевропесчаники.
- **Алевролитовая группа**, представленная алевролитами, алевропелитами и аргиллитами.

Литологические разновидности внутри каждой группы различаются по крупности обломков, соотношению углистых и глинистых компонентов, а также по составу цемента. Структурные и текстурные признаки пород значительно изменяются по латерали, и внутри одного слоя встречаются постепенные переходы между различными литологическими типами.

Углеродистое вещество вмещающих пород представлено бесструктурным, непрозрачным углеродом, который встречается в форме мелких включений, линзовидных скоплений в глинистом и карбонатном цементе, а также в виде микроскопических и макроскопических прослоев.

В основании месторождения залегают вулканиты даубайской свиты, представленные андезибазальтами, которые окрашены в вишневый и зеленовато-серый цвета. Основными породами являются субщелочные трахиандезибазальты, отличающиеся высоким содержанием глинозема и нестабильным соотношением калия к натрию. Содержание кремнезема варьируется от 53–55% в вишневых породах до 47–52% в зеленых. Вулканиты характеризуются однородными текстурами (миндалекаменной, флюидальной

и трахитоидной) и порфировыми или микропорфировыми структурами. Вкрапленники, состоящие из плагиоклаза и авгита, составляют от 5% до 30% объема породы и имеют размеры от 1–2 мм до 5–10 мм. Миндалины, занимающие до 35–40% объема породы, заполнены кальцитом с примесями хлорита, кварца, халцедона и эпидота.

Интрузивные породы на территории встречаются в небольшом объеме. Они представлены ультрабазами Чарского комплекса, диоритами аргимбайского комплекса, а также гранодиорит-порфирами и плагиогранит-порфирами салдырминского гипабиссального комплекса. Некоторые исследователи относят гранитоиды салдырминского комплекса к кунушскому комплексу, который считается генетически связанным с зонами золоторудной минерализации Западно-Калбинской структурно-металлогенической зоны.

Ультрабазиты, полностью серпентинизированные и лиственитизированные, приурочены к зоне Северо-Боконского разлома и образуют пласто- и линзовидные тела мощностью 5–15 м, протяжённостью до 80 м по простиранию и 150–200 м по падению. С увеличением глубины размеры и количество тел возрастает. Интрузии аргимбайского и салдырминского комплексов представлены дайками, дайкообразными и линзовидными телами, которые достигают 150 м по простиранию и 150–250 м по падению при мощности до 40 м. Эти интрузивные тела залегают субсогласно с окружающими породами.

Диориты аргимбайского комплекса распространены на юго-восточном фланге месторождения, где они образуют серию линзовидных тел, расположенных параллельно друг другу на расстоянии 100–200 м от шва Северо-Боконского разлома. Эти породы имеют массивную текстуру и порфировую структуру, а основная масса характеризуется гипидиоморфнозернистой структурой. Минеральный состав диоритов включает:

- Плагиоклаз (55–69%)
- Биотит (2–5%)
- Кварц (3%)
- Карбонаты (8–15%)

Порфировые вкрапленники составляют 12–22% объема породы.

Плагиогранит-порфиры салдырминского комплекса обнаружены в юго-восточной части месторождения. Эти породы однородные, полностью раскристаллизованные, с порфировидной структурой. Порфировые выделения составляют 15–20% объема породы, иногда их количество возрастает до 40–45%. Основными минералами порфировых выделений являются плагиоклазы, реже встречаются фенокристаллы кварца и мусковита. Плагиогранит-порфиры подверглись гидротермально-метасоматическим изменениям.

Вулканыты даубайской свиты, расположенные в лежащем боку надвига, имеют общее падение на северо-восток под углами 50–60°. Осадочные породы

буконьской свиты образуют северо-восточное крыло синклинальной складки герцинского структурного этажа и залегают моноклинально с падением на юго-запад под углами 40–70°. Моноклиальная структура осложнена складками более высокого порядка с размахом крыльев от 200 до 650 м и погружением осей в юго-западном направлении.

Основными разрывными структурами месторождения являются северо-западные и северо-восточные разломы. Северо-Боконский надвиг представляет собой узкий тектонический шов, выполненный дроблеными и перематыми породами, местами глинизированными и изменёнными под воздействием динамометаморфизма и гидротермального метасоматоза.

Зона рудовмещающих пород примыкает к Северо-Боконскому надвигу со стороны висячего бока и прослеживается на протяжении 3 км. Её ширина изменяется от 40–60 м на северо-западном фланге до 400–600 м на юго-восточном. Зона отличается интенсивными тектоническими и гидротермальными преобразованиями[7].

2.5 Характеристика рудных тел и технологические свойства руд, минералогический состав руд.

Васильевское месторождение представляет собой крупный линейный штокверк с золотосодержащими рудами прожилково-вкрапленного типа. Центральная часть месторождения занята зонами интенсивного прожилкового окварцевания и кварцевыми жилами. Границы рудных тел характеризуются постепенным переходом к вмещающим породам и определяются по результатам опробования, не имея чётких контактов. Золотые руды отличаются устойчивостью состава и равномерной выдержанностью по всему простиранию и падению.

Промышленные запасы сосредоточены в пределах 50–70 м от нижнего шва надвига. Зона золоторудной минерализации прослеживается по всей длине рудоконтролирующей структуры при минимальном содержании золота 0,1 г/т. Её строение отличается сложностью из-за чередования раздувов и пережимов. В местах раздувов мощность рудных пород достигает 50–160 м, и именно здесь сосредоточены основные рудные тела.

Распределение рудных столбов контролируется зонами северо-восточного растяжения. На месторождении выделено четыре рудных столба:

- **Первый рудный столб**, являющийся основным по запасам, расположен между профилями №№ 104(-4) – 10. Мощность зоны здесь составляет 100–160 м.
- **Второй рудный столб** расположен между профилями №№ 12–23 и включает средние по размерам рудные тела №№ 5 и 6.
- **Третий рудный столб** локализован в районе профилей №№ 33–40, где находятся рудное тело № 7 и небольшие линзы.

- **Четвёртый рудный столб** расположен на юго-восточном фланге, в районе профилей №№ 103(-3) – 110(-10). Он представляет собой часть первого столба, смещённую на 330 м к юго-западу вдоль Жаноминского разлома.

Между рудными столбами обнаружены лишь небольшие рудные линзы мощностью 0,5–1,0 м с содержанием золота 1,0–1,5 г/т, а в отдельных случаях до 3–5 г/т.

Количество и форма рудных тел зависят от уровня бортового содержания золота. При содержании 3,0 г/т выделено 14 рудных тел (№№ 1, 1а, 1б, 1в, 2, 2а, 2б, 3, 3а, 3б, 4, 5, 5а, 5б и 7), которые имеют линзообразную форму с преобладающей протяжённостью по падению, значительно превышающей длину по простиранию.

Рудные тела №№ 1, 3 и 5 приурочены к одной рудовмещающей структуре, субпараллельной шву надвига. Они последовательно сменяют друг друга на протяжении 500 м. В местах увеличения мощности в лежащем боку появляются дополнительные линзы меньшего масштаба, такие как рудные тела №№ 1а и 3а.

Рудное тело № 1 имеет лентовидную форму с многочисленными раздувами и пережимами, что усложняет его контуры на горизонтальных сечениях. Длина тела по простиранию составляет 150–170 м, а протяжённость по падению — 500–700 м и более, так как оно не ограничено на глубину.

Рудное тело № 2, бывшее основным объектом добычи золота, располагается в висячем боку рудного тела № 1. В горизонтальном сечении оно имеет линзообразную форму с неровными контурами. Длина тела по простиранию составляет 60–80 м, при этом протяжённость по падению превышает 700 м. Средняя мощность тела по горизонтам горных выработок составляет 9,4–10,4 м при среднем содержании золота 7,8–9,2 г/т. Максимальное содержание золота достигает 58,9 г/т.

При снижении бортового содержания до 1,0 г/т отдельные рудные тела объединяются в единое пластообразное образование. На юго-восточном фланге месторождения, в районе профилей №№ 0–4, из-за слияния рудных тел №№ 1, 2 и 3 мощность пластового тела увеличивается до 50–100 м. На остальной части месторождения мощность более равномерна и колеблется от 5 до 30 м, составляя в среднем 15–20 м.

Рудные породы содержат кварц, пирит, арсенопирит, галенит и сфалерит. Золото присутствует в виде мельчайших вкраплений и свободных частиц. В окисленных рудах встречаются вторичные минералы, такие как лимонит, гетит и оксиды железа.

Технологические свойства руд

Технологические свойства руд зависят от их минералогического состава и степени окисления. Окисленные руды характеризуются высокой извлекаемостью золота методом кучного выщелачивания. Первичные

сульфидные руды требуют предварительного обогащения для повышения извлекаемости золота.

Таблица 2.1

Химический состав окисленной руды рудного тела №5 Васильевского месторождения

Компонент	Ед. изм.	Содержания компонентов
Au	г/т	2,5
Ag	г/т	4,6
Pt	г/т	0,006
Cu	%	0,04
Pb	%	0,01
Zn	%	0,03
Fe	%	4,17
C	%	0,27
As	%	0,1
SiO ₂	%	73,88
S общ.	%	0,24
S сульфат.	%	0,19
Ca	%	0,65
Sb	%	0,006
Pd	г/т	0,006

Минералогический состав руд.

На Васильевском месторождении выделено два основных природных типа руд: окисленные и первичные. Зона полного окисления развита до глубины 20–30 м. Под ней расположена транзитная зона с частично окисленными рудами, переходящая в зону первичного оруденения.

Окисленные руды представлены полностью выветрелыми породами рудовмещающей подзоны, такими как рассланцованные и раздробленные алевролиты, алевропесчаники, песчаники и тектонические брекчии, интенсивно пронизанные штокверками кварцевых прожилков. Основными рудными минералами являются гидрогетит, лимонит, ярозит, псиломелан, халькозин, ковелин, скородит, хризоколла, церуссит, валентинит, малахит и золото. Наиболее широко распространены гидроокислы железа, которые составляют 60–70% массы руд и образуют колломорфные выделения. Золото встречается преимущественно в самородном виде, главным образом в виде мелких включений в кварце и лимонит-гетит-скородитовой массе (83,59%). Свободное золото составляет 7,61%, а золото, связанное с сульфидами, – 8,57%.

Содержание основных элементов в окисленных рудах составляет:

- Мышьяк – 0,08–0,1%,

- Свободный углерод – 0,27–0,63%,
- Медь – 0,01–0,04%,
- Цинк – до 0,03%,
- Свинец – до 0,01%,
- Железо – 4,17%,
- Серебро – 1,0–4,6 г/т.

Для окисленных руд характерны структуры гипергенного замещения, среди которых наиболее распространены петельчатая, реликтовая и раскрошенная. Среди текстур часто встречаются ячеистая, ящичная, почковидная, натежно-скорлуповатая, порошоквая и землистая[8].

Первичные руды Васильевского месторождения представлены углисто-глинистыми сланцами и кварцем, которые подверглись значительным гидротермальным изменениям. Кварц формирует линзовидные тела, штокверки прожилков и тонкие послойные жилы небольшой мощности. Его содержание в составе руд варьируется в широких пределах — от 10–30% до полного преобладания (100%). Интенсивное штокверковое окварцевание наиболее выражено в раздувах рудных тел и в зонах обогащённых рудных столбов.

Сульфидные минералы в первичных рудах представлены тонкой неравномерной вкрапленностью пирита, марказита, мельниковит-пирита и арсенопирита, а также в небольших количествах встречаются халькопирит, сфалерит, галенит и блеклая руда. Общее содержание сульфидов в рудах составляет 2–3%, изредка достигая 10%. Среди сульфидов доминирует пирит, его содержание в 2,5–3 раза превышает содержание арсенопирита.

Золото является единственным промышленно значимым компонентом первичных руд. Примерно 49,1% золота находится в свободной форме, а остальная часть связана с сульфидами — пиритом и арсенопиритом. В кварце золото встречается в виде различных выделений: проволокообразных, чешуйчатых, пластинчатых, листоватых, комковатых и дендритовидных. Пробность золота варьируется в пределах 845–872 единиц и возрастает с глубиной. Размеры золотинок изменяются от долей миллиметра до 1,5–2 мм. В сульфидах золото образует мелкие включения, располагаясь в интерстициях зерен, при этом размеры золотинок составляют 1–10 микрон. Концентрация золота в пирите составляет 9,0–170,3 г/т, а в арсенопирите — 114–483 г/т. В галените содержание золота не превышает 10 г/т.

В сульфидах установлено наличие редких элементов — селена и теллура. Средние концентрации этих элементов составляют:

- в пирите: **0,0059% селена и 0,0014% теллура,**
- в арсенопирите: **0,0096% селена и 0,0013% теллура.**

Химический состав первичных руд характеризуется следующими показателями:

- **Свободный углерод** — 1,34–1,95%,
- **Мышьяк** — 0,44–0,58%,
- **Медь** — до 0,01%,
- **Цинк** — 0,41–0,46%,
- **Свинец** — до 0,01%,
- **Серебро** — 1,0–1,5 г/т.

Особого внимания заслуживает высокий уровень содержания свободного углерода (1,34–1,95%), который может создать серьёзные трудности при обогащении руд. Также необходимо учитывать повышенные концентрации мышьяка, что требует применения дополнительных мер для безопасной переработки первичных руд.

Особенности выщелачивания.

Окисленные руды Васильевского месторождения хорошо поддаются кучному выщелачиванию, что связано с их пористостью и высоким содержанием свободного золота. Для первичных сульфидных руд требуется дополнительное дробление и агломерация для повышения эффективности выщелачивания.

Таким образом, геологическое строение Васильевского месторождения включает сложную комбинацию стратиграфических, магматических и тектонических элементов, что оказывает значительное влияние на характеристики рудных тел и их технологические свойства[9].

3 Технология кучного выщелачивания.

Кучное выщелачивание (heap leaching) — это процесс извлечения ценных металлов, в частности золота, из руд с использованием слабых растворов реагентов, таких как цианид. Этот метод является эффективным и экономически выгодным для переработки низкосортных и мелкораспыленных руд, которые невозможно извлечь с помощью традиционных методов, таких как обогащение или пирометаллургическая переработка. В этом разделе будет рассмотрена основная концепция технологии кучного выщелачивания, ее этапы, а также опытно-промышленные испытания на Васильевском месторождении.

3.1. Принципы кучного выщелачивания.

Принцип кучного выщелачивания заключается в том, что раствор химического реагента (чаще всего цианида натрия или калия) проникает через кучу руды, растворяя золото и создавая растворы, которые затем извлекаются и обрабатываются для получения чистого золота. Основные этапы

технологического процесса включают подготовку руды, подачу раствора, выщелачивание, сбор раствора, его очистку и извлечение золота.

На процессе кучного выщелачивания влияет множество факторов, таких как характеристики руды (гранулометрия, минералогия, содержание золота), свойства раствора (концентрация цианида, температура, pH) и особенности условий на месторождении (климат, геология)[14].

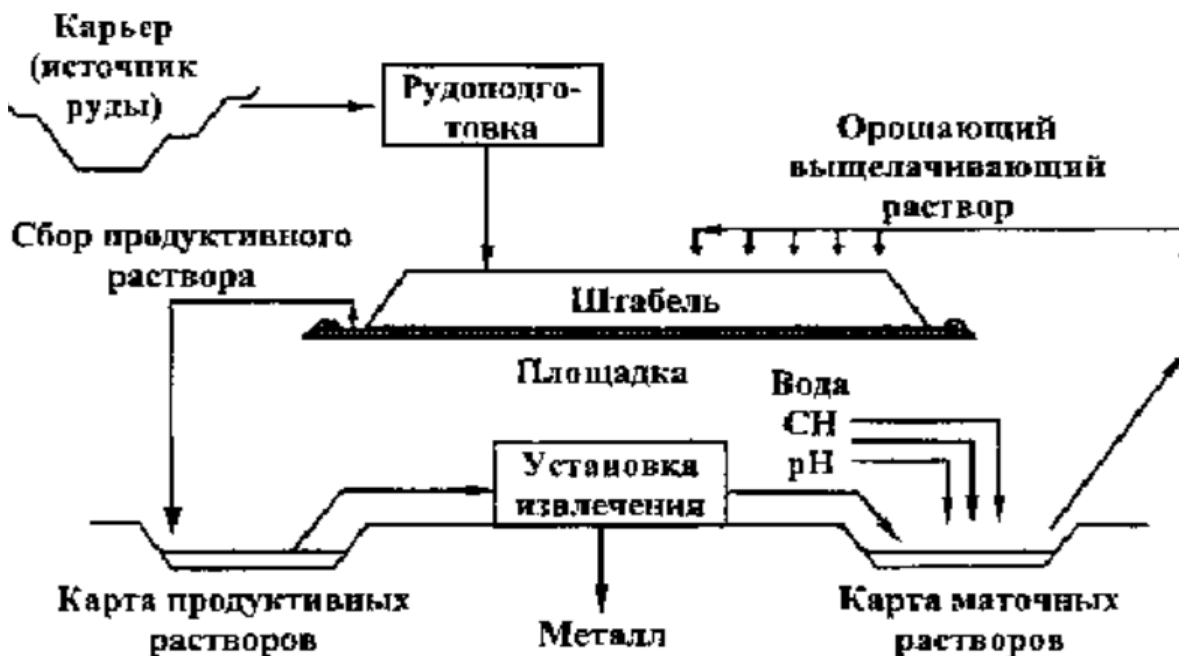


Рис. 3.1 Принципиальная схема кучного выщелачивания золотосодержащего минерального сырья

Основные этапы технологии кучного выщелачивания:

- **Подготовка руды:** Руда сначала подвергается дроблению и измельчению до нужного размера (25-12 мм.), чтобы увеличить площадь поверхности для контакта с раствором.
- **Укладка руды на кучи:** Измельченная руда укладывается на подготовленные площадки, обычно с наклоном, чтобы обеспечить сток раствора.
- **Подавление раствора:** На кучу руды равномерно подается раствор цианида с помощью ирригационных систем.
- **Выщелачивание:** Процесс, при котором раствор цианида проходит через руду, растворяя золото.
- **Сбор и фильтрация раствора:** После выщелачивания раствор собирается в специальные резервуары и очищается от твердых частиц и примесей.
- **Извлечение золота:** Золото извлекается из раствора с помощью различных методов, таких как сорбция на активном угле или электролиз.

3.2. Этапы технологического процесса

Подготовка руды.

На этом этапе руда подвергается дроблению и измельчению до размеров, подходящих для выщелачивания. Обычные размеры частиц для эффективного выщелачивания варьируются от 0,1 мм до 3 мм. Однако при использовании большего размера частиц выщелачивание становится менее эффективным, так как раствор не может проникать вглубь крупных частиц. После измельчения руда укладывается на специальные платформы, называемые кучами. Эти кучи часто могут достигать десятков метров в высоту и могут занимать большие площади[14].

Подача раствора цианида.

Следующим шагом является подача цианидного раствора на кучу руды. Раствор цианида наносится с помощью ирригационных систем, которые равномерно распределяют жидкость по поверхности кучи. Основной задачей является обеспечение равномерного контакта раствора с каждой частичкой руды, что способствует максимальному извлечению золота.

Параметры подачи раствора, такие как скорость подачи и количество раствора, регулируются в зависимости от характеристик руды и погодных условий. К примеру, в жарких климатах подача раствора может потребовать дополнительного контроля, чтобы предотвратить слишком быстрое испарение воды.

Процесс выщелачивания.

Процесс выщелачивания заключается в том, что раствор цианида взаимодействует с золотыми минералами, образуя растворимые комплексы, что позволяет золоту переходить из руды в раствор. Обычно для эффективного выщелачивания требуется несколько дней или недель, в зависимости от температуры и состава руды.

Важно поддерживать оптимальные условия, такие как pH раствора (обычно в пределах 10-11), чтобы обеспечить стабильность цианидных комплексов и предотвратить разрушение цианидов. Также важным параметром является температура раствора, которая должна быть поддержана на уровне 15-30°C.

Сбор раствора и фильтрация.

После того как раствор прошел через руду и растворил золото, его собирают в специальных резервуарах. Сбор раствора осуществляется с учетом уклона кучи, чтобы обеспечить естественный сток.

Далее раствор фильтруется для удаления твердых частиц и других примесей, которые могут присутствовать в растворе. Это необходимо для

предотвращения засорения системы и улучшения качества раствора, который затем используется для извлечения золота.

Извлечение золота.

Извлечение золота из раствора цианида может быть выполнено различными методами:

- **Сорбция на активном угле:** Раствор проходит через слои активированного угля, который адсорбирует золото, образуя золото-угольный комплекс. Затем золото извлекается из угля путем десорбции, обычно с использованием горячих растворов.
- **Цементация:** В некоторых случаях для извлечения золота используется процесс цементации, при котором раствор цианида вступает в реакцию с железом, в результате чего золото осаждается в виде металлического осадка.
- **Электролиз:** Еще один метод извлечения золота — электролиз, при котором золото осаждается на катоде, что позволяет получить высококачественное металлическое золото.

3.3. Опытные-промышленные испытания на Васильевском месторождении

Васильевское месторождение — одно из крупных золотых месторождений в Казахстане, которое активно использует метод кучного выщелачивания для переработки окисленных руд. Опытные-промышленные испытания, проведенные на Васильевском месторождении, сыграли важную роль в определении оптимальных параметров технологического процесса и подтвердили эффективность применения этой технологии на данном объекте.

В 2017 году на месторождении была построена установка кучного выщелачивания (УКВ), предназначенная для переработки окисленных руд. Установка имеет производительность до 500 тыс. тонн руды в год. В ходе опытных и промышленных испытаний были получены следующие основные результаты:

- **Извлечение золота:** На основе испытаний было установлено, что извлечение золота с использованием цианидного выщелачивания достигает проектных показателей, что подтверждает высокую эффективность данной технологии.
- **Технологический регламент:** Были разработаны и утверждены регламенты переработки окисленных руд с применением метода кучного выщелачивания, что обеспечило стабильность и устойчивость процесса.
- **Экономическая эффективность:** Промышленные испытания подтвердили экономическую целесообразность использования технологии кучного выщелачивания на Васильевском месторождении,

так как она позволила значительно снизить затраты на переработку низкосортных руд и повысить извлечение золота.

Результаты испытаний показали, что метод кучного выщелачивания является наиболее эффективным для переработки окисленных руд с низким содержанием золота. Технология успешно применяется на месторождении для извлечения золота из окисленных руд, что дает возможность существенно повысить рентабельность добычи.

4 Оптимизация процесса кучного выщелачивания

Процесс кучного выщелачивания является высокоэффективной технологией извлечения золота из окисленных руд. Однако, несмотря на свою эффективность, этот процесс имеет множество переменных, которые могут существенно повлиять на его экономичность и результативность. В этой главе будет рассмотрено влияние различных параметров процесса кучного выщелачивания на извлечение золота, методы повышения его эффективности, а также экологические и инновационные аспекты оптимизации этой технологии.

4.1. Влияние параметров процесса на извлечение золота

Процесс кучного выщелачивания является сложным и многозависимым. Эффективность извлечения золота зависит от множества факторов, включая физико-химические характеристики руды, параметры технологического процесса и использование различных реагентов. В данной главе подробно рассмотрены параметры, которые оказывают влияние на извлечение золота, а также методы их оптимизации[15].

Гранулометрия руды.

Гранулометрия руды — это распределение частиц руды по размерам. Этот параметр имеет решающее значение для эффективности выщелачивания, поскольку он влияет на площадь поверхности, с которой контактирует раствор цианида. Мелкие частицы имеют большую поверхность, что способствует более эффективному растворению золота.

- **Мелкая фракция (менее 0,1 мм):** Мелкие частицы руды обладают большей поверхностью для контакта с реагентами, что улучшает извлечение золота. Однако процесс фильтрации таких растворов может быть сложным, так как мелкие частицы могут забивать фильтры.
- **Средняя фракция (0,1-1 мм):** Эти частицы обеспечивают хороший баланс между контактной поверхностью и удобством фильтрации. Это оптимальная фракция для большинства процессов выщелачивания.
- **Крупная фракция (более 3 мм):** При наличии крупных частиц процесс выщелачивания становится менее эффективным, так как раствор не

может проникнуть внутрь крупных частиц, что снижает контакт с золотыми включениями.

Оптимизация измельчения руды, с целью достижения фракции, которая обеспечивает наилучший баланс между эффективностью выщелачивания и фильтрацией, является важным аспектом улучшения процесса.

Таблица 4.1

Размер частиц (мм)	Процент в составе руды	Влияние на извлечение золота
<0,1	15%	Повышенная реактивность, но требует дополнительных фильтрационных и пульповых процессов.
0,1-1,0	40%	Оптимальная гранулометрия для большинства процессов выщелачивания.
1,0-3,0	35%	Требуется применения дополнительных методов измельчения.
>3,0	10%	Сниженная эффективность выщелачивания, необходимо дополнительное измельчение или повышение температуры.

Температура и pH раствора.

Температура и pH раствора существенно влияют на скорость химических реакций, происходящих в процессе выщелачивания. Каждое изменение этих параметров может привести к изменению эффективности извлечения золота.

- **Температура:** Увеличение температуры ускоряет химические реакции, включая растворение золота из руды. Однако высокая температура требует больших энергетических затрат, что повышает себестоимость процесса. Оптимальная температура для выщелачивания золота цианидными растворами находится в пределах 15-30°C. При температуре выше 30°C может ускоряться растворение других минералов, что также может снижать эффективность выщелачивания.
- **pH раствора:** pH раствора играет ключевую роль в стабильности цианидных комплексов и в скорости реакции золота с цианидом. Для эффективного выщелачивания pH раствора должен находиться в пределах 10-11. При более низких значениях pH цианидные комплексы становятся нестабильными, что снижает эффективность извлечения золота.

Изменение pH раствора и температуры позволяет контролировать процесс выщелачивания и повышать извлечение золота. На практике pH часто регулируется добавлением извести для поддержания оптимального уровня.

Концентрация цианида.

Цианид является основным реагентом, используемым для растворения золота. Его концентрация влияет на скорость и полноту выщелачивания. Низкая концентрация цианида может привести к недостаточному извлечению золота, тогда как слишком высокая концентрация увеличивает затраты на реагенты и требует более сложных методов нейтрализации отходов.

- **Оптимальная концентрация цианида** для большинства процессов выщелачивания находится в пределах 0,05-0,1%. Эта концентрация является достаточной для растворения золота, при этом не вызывает чрезмерных затрат на реагенты.
- **Слишком высокая концентрация цианида** приводит к дополнительным затратам и требует сложных методов очистки сточных вод, что может негативно сказаться на экономической эффективности процесса.

Время контакта раствора с рудой.

Продолжительность времени, в течение которого раствор цианида контактирует с рудой, имеет важное значение для извлечения золота. Чем дольше раствор контактирует с рудой, тем больше золота извлекается из руды. Однако увеличение времени выщелачивания также ведет к увеличению операционных затрат и снижению экономической эффективности.

- **Оптимальное время контакта** зависит от типа руды и granulometрии. Для окисленных руд время выщелачивания может составлять несколько дней, в то время как для сульфидных руд этот процесс может занять до нескольких недель.

Тип руды и минералогический состав.

Минералогический состав руды влияет на ее реакцию с цианидом. Сульфидные минералы, такие как пирит (FeS_2), халькопирит (CuFeS_2) и другие, могут замедлять процесс выщелачивания золота, так как они могут ингибировать реакцию с цианидом.

- **Окисленные руды** (например, гематит, лимонит) легко растворяются в цианидных растворах, что приводит к высокому коэффициенту извлечения золота.

- **Сульфидные руды** требуют дополнительных стадий обработки, таких как обжиг или использование химических реагентов, разрушающих сульфидные минералы, для улучшения растворимости золота.

Тип руды	Влияние на процесс выщелачивания
Окисленные	Высокое извлечение золота, низкие затраты на реагенты
Сульфидные	Необходимость дополнительных методов обработки, низкая реактивность с цианидом

Качество воды и содержание растворенных веществ.

Качество воды, используемой для выщелачивания, также оказывает влияние на эффективность процесса. Высокое содержание твердых частиц или растворенных веществ (например, солей) может ухудшить эффективность цианидного выщелачивания. Поэтому важно использовать воду с низким содержанием загрязняющих веществ и регулярно очищать систему.

4.2. Методы повышения эффективности выщелачивания.

Для повышения эффективности процесса кучного выщелачивания применяются различные методы, направленные на оптимизацию его параметров. Среди них можно выделить следующие:

1. **Использование активного угля для сорбции золота.** Одним из наиболее эффективных методов повышения извлечения золота является использование активного угля для сорбции золота из раствора. Этот метод позволяет повысить концентрацию золота в растворе, после чего уголь можно подвергнуть десорбции и извлечению золота. Использование угля снижает потребность в дополнительной химической обработке раствора.
2. **Применение кислых реагентов для улучшения растворимости.** В некоторых случаях для повышения растворимости золота используются кислые реагенты, такие как сульфат аммония, сульфаты или кислоты. Эти реагенты помогают разрушать сульфидные минералы, которые могут ингибировать процесс выщелачивания. Применение кислых растворов может значительно улучшить извлечение золота, особенно при переработке сульфидных руд.
3. **Использование биологического выщелачивания.** В последние годы в качестве альтернативы химическому выщелачиванию становится популярным биологическое выщелачивание с использованием микроорганизмов. Бактерии, такие как *Thiobacillus ferrooxidans* и *Leptospirillum ferrooxidans*, способны окислять железо и серу в руде, ускоряя процесс выщелачивания золота.

4. Модернизация оборудования и технологии. Современные технологии, такие как использование высокоэффективных насосных систем, автоматизированных систем мониторинга и управления, могут значительно повысить эффективность процесса кучного выщелачивания. Применение современных материалов для фильтрации и регенерации цианидных растворов также способствует снижению затрат и увеличению эффективности переработки.

4.3. Экологические аспекты процесса кучного выщелачивания.

Процесс кучного выщелачивания, несмотря на свою эффективность в извлечении золота из низкосортных руд, имеет ряд экологических рисков, связанных с использованием цианидных растворов и возможным загрязнением окружающей среды. В этой главе рассматриваются экологические последствия применения технологии кучного выщелачивания на золотых месторождениях, а также предлагаются способы минимизации воздействия на окружающую среду[15].

Экологические риски при использовании цианидов.

Цианид — это высокотоксичное вещество, которое используется в процессе выщелачивания для растворения золота из руды. Его основное воздействие заключается в загрязнении водоемов и почвы, что может привести к гибели водных организмов, растений и даже вредить человеку при несчастных случаях или авариях на объекте. Главные экологические риски, связанные с использованием цианидов, включают:

- **Загрязнение водных ресурсов:** Существует риск попадания цианидных растворов в водоемы, что приводит к их токсичному загрязнению.
- **Загрязнение почвы:** При неправильном хранении отходов цианидного раствора возможно загрязнение почвы и нарушение экосистемы.
- **Воздействие на биоту:** Цианиды и их продукты распада могут воздействовать на водные и почвенные экосистемы, нарушая биоценоз и снижая биоразнообразие.

Методы минимизации экологических рисков.

Для минимизации воздействия цианидов на окружающую среду и обеспечения экологической безопасности на золотодобывающих предприятиях необходимо внедрить ряд технологий и методов:

Системы замкнутого цикла воды.

Система замкнутого цикла воды на золотодобывающих предприятиях, использующих технологию кучного выщелачивания, является важным элементом экологической безопасности, так как позволяет минимизировать выбросы сточных вод и значительно сократить потребление воды. В такой

системе вода, использованная в процессе выщелачивания, очищается и возвращается обратно в цикл, что способствует значительному снижению воздействия на окружающую среду и экономии ресурсов.

Ниже приведена подробная таблица, показывающая основные этапы работы системы замкнутого цикла воды.

Таблица 4.2

Схема в виде таблицы, показывающая этапы замкнутого цикла воды в процессе кучного выщелачивания:

Этап	Описание	Процесс
1. Выщелачивание руды	Раствор цианида подается на кучу руды	Процесс выщелачивания золота из руды с использованием цианидного раствора
2. Сбор цианидного раствора	Раствор собирается в резервуарах или коллекторах	Сбор раствора, содержащего золото и цианиды
3. Очистка сточных вод	Нейтрализация цианидов и других токсичных веществ	Очищение сточных вод от твердых частиц и химических загрязнителей
4. Вода для повторного использования	Очищенная вода готова к возврату в систему	Вода очищена и подготовлена для повторного использования в процессе выщелачивания
5. Возврат воды в систему	Вода возвращается в выщелачивающую установку	Возврат очищенной воды в систему для повторного использования в процессе выщелачивания
6. Мониторинг качества воды	Контроль концентрации цианидов, pH и других химических параметров	Регулярный мониторинг для проверки качества воды и предотвращения загрязнения

Исходный этап: Выщелачивание руды.

На этом этапе используется вода с цианидным раствором, которая подается на кучи руды для выщелачивания золота. Раствор цианида проникает через слой руды, растворяет золото, после чего раствор собирается в специальных резервуарах.

Этап очистки сточных вод.

После того как раствор прошел через руду и золото было извлечено, раствор с остатками цианида и других химических веществ поступает в

систему очистки. На этом этапе вода очищается от токсичных веществ и твердых частиц, после чего она готова для повторного использования.

Этап накопления и повторного использования.

После очистки сточные воды возвращаются в систему для повторного использования. Очищенная вода подается обратно в процесс выщелачивания, замкнув цикл и минимизируя потребление пресной воды. Таким образом, вода используется многократно, и она не выбрасывается в окружающую среду.

Этап мониторинга и контроля качества воды.

Для обеспечения безопасности и предотвращения загрязнения окружающей среды необходимо регулярное отслеживание качества воды на всех этапах: как на стадии сбора раствора, так и после очистки. Это включает контроль концентрации цианидов, pH и других химических параметров. Система мониторинга позволяет оперативно выявлять возможные отклонения и устранять их до того, как вода попадет в природные водоемы.

Преимущества системы замкнутого цикла воды:

1. **Экономия воды:** Существенное сокращение потребления воды за счет многократного использования.
2. **Снижение экологического воздействия:** Уменьшение выбросов сточных вод и токсичных веществ в окружающую среду.
3. **Снижение затрат на водоснабжение:** Меньше зависимость от внешних источников воды, что важно для предприятий, расположенных в регионах с ограниченными водными ресурсами.
4. **Повышение устойчивости работы:** Постоянный контроль за качеством воды и системная очистка позволяют избежать аварийных ситуаций и долгосрочных экологических проблем.

Использование безцианидных технологий.

Безцианидные технологии, такие как тиосульфатное или хлоридное выщелачивание, являются альтернативой традиционным методам выщелачивания с использованием цианидов. Эти методы обеспечивают более экологически безопасное извлечение золота, так как не используют токсичные химические вещества.

- **Тиосульфатное выщелачивание:** В данном методе используется тиосульфат натрия, который в 100 раз менее токсичен, чем цианид. Этот метод уже успешно применяют на некоторых золотоносных месторождениях с высокими уровнями сульфидных минералов.

- **Хлоридное выщелачивание:** Этот метод предполагает использование хлоридных растворов для выщелачивания золота, что также значительно снижает риск загрязнения окружающей среды.

Таблица 4.3

Сравнение цианидного и безцианидного выщелачивания

Параметр	Цианидное выщелачивание	Тиосульфатное выщелачивание	Хлоридное выщелачивание
Токсичность	Высокая	Низкая	Низкая
Стоимость реагентов	Средняя	Высокая	Средняя
Сложность процесса	Средняя	Высокая	Высокая
Экологическая безопасность	Низкая	Высокая	Высокая

Регенерация цианидных растворов.

Регенерация цианидных растворов позволяет повторно использовать цианид, что значительно снижает экологические риски, связанные с его выбросом в окружающую среду. Основными методами регенерации являются:

- **Метод окисления сульфатами:** Использование сульфатов для окисления цианидных растворов позволяет удалить цианиды и подготовить раствор для повторного использования.
- **Метод адсорбции на активном угле:** Активный уголь может поглощать цианиды, которые затем удаляются с использованием различных химических реагентов, что позволяет регенерировать раствор и снизить его токсичность.

Рекультивация и восстановление экосистем.

После завершения процесса добычи и переработки руды необходимо провести рекультивацию земель, чтобы вернуть природный ландшафт в исходное состояние. Рекультивация включает в себя:

- Восстановление растительности на нарушенных землях.
- Удаление загрязненных слоев почвы.
- Применение биоремедиации для очистки почвы от остатков цианидов и других токсичных веществ.

Рассмотренные методы минимизации экологических рисков при использовании технологии кучного выщелачивания позволяют значительно снизить воздействие на окружающую среду. Внедрение систем замкнутого цикла воды, использование безцианидных технологий, регенерация цианидных растворов и регулярный мониторинг экологической ситуации обеспечивают устойчивое развитие золотодобывающих предприятий,

способствуя более безопасному и экологически чистому процессу добычи золота.

Эти технологии и методы не только минимизируют экологическое воздействие, но и повышают устойчивость бизнеса, создавая условия для долгосрочной эксплуатации месторождений с минимальным ущербом для природы.

4.4. Инновационные подходы и технологии

Современные разработки и инновации в области технологии кучного выщелачивания для извлечения золота направлены на повышение эффективности процесса, снижение затрат и минимизацию воздействия на окружающую среду. В последние годы на рынке золотодобычи появляются новые подходы, технологии и материалы, которые значительно улучшают как скорость извлечения золота, так и его экономическую и экологическую целесообразность. В этой главе рассматриваются основные инновационные подходы и технологии, которые могут быть внедрены на Васильевском месторождении для оптимизации процесса кучного выщелачивания.

1. Безцианидные технологии выщелачивания.

Одной из самых актуальных инноваций в горнодобывающей отрасли является переход к безцианидным технологиям. Цианид, несмотря на свою высокую эффективность в процессе выщелачивания золота, является крайне токсичным веществом, которое представляет опасность для здоровья человека и окружающей среды. Для снижения экологических рисков и улучшения экологической безопасности разрабатываются и внедряются альтернативные методы, такие как:

Тиосульфатное выщелачивание: Тиосульфат натрия используется в качестве заменителя цианида для выщелачивания золота из сульфидных и окисленных руд. Этот метод значительно менее токсичен, что позволяет значительно снизить риски загрязнения окружающей среды. Однако тиосульфатное выщелачивание требует более сложной химической обработки, что делает его несколько дороже, чем традиционный метод цианидного выщелачивания. Тем не менее, для месторождений с высоким содержанием сульфидных руд этот метод может быть выгодным.

Преимущества:

- Низкая токсичность.
- Высокая эффективность при обработке сульфидных руд.
- Снижение затрат на экологические очистные мероприятия.

Хлоридное выщелачивание: Еще один альтернативный метод — использование хлоридных растворов, которые могут извлекать золото с высокой эффективностью, особенно из сульфидных руд. Этот метод

значительно снижает экологические риски, так как хлориды гораздо менее токсичны по сравнению с цианидом.

Преимущества:

- Минимальное воздействие на окружающую среду.
- Повышенная устойчивость к загрязнениям.
- Более низкие затраты на нейтрализацию отходов.

2. Использование активного угля для сорбции золота

Использование активного угля для извлечения золота из раствора цианида (или его альтернатив) является одной из наиболее эффективных технологий на текущий момент. Процесс сорбции на активном угле позволяет не только повысить коэффициент извлечения золота, но и облегчить его последующее извлечение из угля с помощью десорбции.

- **Процесс сорбции** заключается в том, что раствор золото-цианидного комплекса проходит через слой активного угля, который захватывает золото и концентрирует его на своей поверхности. Этот процесс позволяет избирательно извлекать золото из раствора и значительно улучшить его концентрацию.
- **Десорбция** — это процесс, при котором золото извлекается из угля с помощью нагревания раствора или химической обработки (например, с использованием натрия или других реагентов). Этот процесс дает возможность повторно использовать активный уголь, что снижает расходы на его замену.

Преимущества:

- Высокая эффективность извлечения золота.
- Низкие затраты на очистку раствора.
- Возможность многократного использования активного угля.

3. Биотехнологии для выщелачивания золота

В последние годы активно развиваются биологические методы выщелачивания золота, основанные на использовании микроорганизмов для обработки руд. Микроорганизмы, такие как бактерии *Thiobacillus ferrooxidans* и *Leptospirillum ferrooxidans*, способны окислять сульфидные минералы, что ускоряет процесс выщелачивания золота из руды.

- **Биологическое выщелачивание** используется для сульфидных руд, где микроорганизмы, окисляя железо и серу, способствуют высвобождению золота. Это может значительно снизить затраты на использование химических реагентов и повысить устойчивость процесса к внешним условиям.

Преимущества:

- Экологическая безопасность.

- Снижение затрат на химические реагенты.
- Высокая эффективность при обработке сульфидных руд.

4. Использование наноматериалов для улучшения выщелачивания.

Применение нанотехнологий в горной промышленности начинает играть все более важную роль. Наночастицы, такие как наночастицы золота, углеродные нанотрубки и другие материалы, могут значительно улучшить контакт с раствором и ускорить процесс выщелачивания золота.

- **Наночастицы золота:** Наночастицы золота могут быть использованы для улучшения сорбции золота из растворов. Они обладают высокой реакционной способностью и могут быть эффективными для выщелачивания даже из труднодоступных участков руды.
- **Нанокарбоновые материалы:** Нанокарбоновые частицы, такие как углеродные нанотрубки, могут использоваться для увеличения эффективности сорбции и извлечения золота из раствора.

Преимущества:

- Повышение скорости и эффективности выщелачивания.
- Возможность использования новых материалов для улучшения процесса.
- Снижение затрат на реагенты.

5. Роботизация и автоматизация процессов.

Роботизация и автоматизация процессов в горнодобывающей промышленности становятся все более актуальными. Внедрение автоматизированных систем позволяет повысить точность и скорость выполнения операций, таких как подача раствора, мониторинг температуры и pH раствора, а также контроль за качеством извлечения золота.

- **Автоматизация подачи раствора и мониторинга** позволяет точно регулировать параметры процесса и быстро реагировать на изменения, что повышает общую эффективность.
- **Роботизация операций**, таких как очистка и замена фильтров, уменьшает потребность в ручном труде и повышает безопасность на производстве.

Преимущества:

- Увеличение точности и скорости операций.
- Снижение человеческого фактора и улучшение безопасности.
- Повышение производительности.

Внедрение инновационных подходов и технологий в процесс кучного выщелачивания золота значительно повышает эффективность и устойчивость всего процесса. Использование безцианидных технологий, активного угля для сорбции золота, биотехнологий и наноматериалов позволяет не только

повысить извлечение золота, но и минимизировать экологические риски, что делает процесс более экологически безопасным и экономически выгодным. Развитие роботизации и автоматизации улучшает контроль за процессами, что в свою очередь повышает точность и производительность, снижая затраты и увеличивая общую эффективность золотодобычи.

5 Экономическая оценка оптимизированного процесса

В данном разделе рассматривается экономическая оценка оптимизированного процесса кучного выщелачивания, а также влияние оптимизации на себестоимость и рентабельность переработки золотоносных руд. Оценка затрат и выгод позволяет понять, насколько эффективным является применение новых технологий и методов для извлечения золота и какой экономический эффект они могут принести.

5.1. Анализ себестоимости и рентабельности.

Оптимизация процесса кучного выщелачивания может существенно повлиять на себестоимость переработки руды и повысить рентабельность золотодобывающего предприятия. Рассмотрим основные компоненты себестоимости, которые могут измениться в результате внедрения новых технологий.

1. **Себестоимость сырья и реагентов.** В процессе выщелачивания одним из ключевых факторов является стоимость реагентов, таких как цианид. Оптимизация дозировки цианида и использование более дешевых альтернативных реагентов могут привести к значительному снижению затрат на химикаты. Например, использование тиосульфата в качестве замены цианида может снизить расходы на реагенты в несколько раз, хотя стоимость обработки и установки будет выше.
2. **Затраты на оборудование и инфраструктуру.** Внедрение новых технологий, таких как биологическое выщелачивание или использование активного угля, требует значительных инвестиций в оборудование и инфраструктуру. Однако эти затраты могут быть компенсированы за счет повышения эффективности выщелачивания и увеличения объема извлеченного золота. Современные системы автоматизации и роботизации также требуют затрат на установку, но позволяют снизить эксплуатационные расходы и повысить производительность.
3. **Энергетические затраты.** Процесс кучного выщелачивания в некоторых случаях требует дополнительных энергетических затрат, таких как повышение температуры раствора или использование насосных систем для прокачки раствора через кучу руды. Оптимизация этих процессов, включая использование более эффективных насосных систем и улучшение теплоизоляции, может снизить энергозатраты.

4. **Затраты на транспортировку и хранение.** При переработке больших объемов руды важным аспектом является логистика. Оптимизация транспортных потоков, использование более эффективных методов укладки руды в кучах и улучшение системы отводов раствора позволяют снизить затраты на транспортировку и хранение.
5. **Экологические затраты.** Экологические затраты, связанные с негативным воздействием цианидов на окружающую среду, могут быть значительными. Внедрение технологий, минимизирующих экологический след, таких как регенерация цианидных растворов или использование безцианидных технологий, может снизить расходы на очистку и компенсацию экологических последствий.

5.2. Влияние оптимизации на экономические показатели

Оптимизация процесса кучного выщелачивания напрямую влияет на ключевые экономические показатели, такие как выработка золота, себестоимость и рентабельность. Рассмотрим, как внедрение новых технологий влияет на эти показатели:

1. **Увеличение коэффициента извлечения золота.** Благодаря улучшению технологического процесса (например, уменьшению размера частиц руды, применению более эффективных реагентов или использованию активного угля для сорбции золота) можно значительно повысить коэффициент извлечения золота. Повышение извлечения даже на 3-5% может привести к значительному увеличению объема извлекаемого металла, что, в свою очередь, улучшает финансовые результаты.
2. **Снижение операционных затрат.** Оптимизация всех этапов процесса, включая улучшение дозировки реагентов, повышение эффективности применения энергии и модернизация оборудования, способствует снижению операционных затрат. Использование более дешевых реагентов, таких как тиосульфат, также может существенно снизить затраты на химические реагенты, что способствует улучшению рентабельности проекта.
3. **Снижение экологических затрат.** Инновационные методы, такие как использование безцианидных технологий или восстановление цианидных растворов, могут снизить экологические риски и расходы на очистку окружающей среды. Уменьшение воздействия на окружающую среду также снижает затраты на экологические компенсации и повышение репутации компании.
4. **Повышение общей прибыльности.** Оптимизация процессов выщелачивания и модернизация оборудования позволяют повысить прибыльность предприятия за счет снижения себестоимости извлечения золота, увеличения выхода металла и уменьшения экологических расходов. Это повышает общую финансовую привлекательность проекта.

5.3. Перспективы внедрения оптимизированных технологий

Прогнозирование долгосрочных экономических эффектов от внедрения оптимизированных технологий в процессе кучного выщелачивания предполагает несколько важных аспектов:

1. **Снижение капитальных затрат.** С развитием технологий и улучшением оборудования, себестоимость капитальных вложений в процесс выщелачивания со временем снижается. Использование более дешевых материалов, улучшение технологических схем и повышение эффективности переработки руды позволяет снизить начальные инвестиции.
2. **Экономия на операционных расходах.** Инновации в области автоматизации, более эффективного использования энергоресурсов и снижения затрат на реагенты позволяют достичь значительных экономий на операционных расходах. Это, в свою очередь, повышает конкурентоспособность предприятия на мировом рынке.
3. **Развитие устойчивых методов переработки.** Внедрение устойчивых и экологически безопасных технологий позволит предприятиям не только снизить затраты на очистку и восстановление окружающей среды, но и улучшить общественное восприятие, что может сыграть ключевую роль в долгосрочной финансовой стабильности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была проведена всесторонняя оценка и оптимизация технологии кучного выщелачивания для извлечения золота на примере Васильевского золотого месторождения. Оценка геологических и технологических параметров процесса позволила выявить ключевые факторы, влияющие на эффективность выщелачивания, а также предложить способы их оптимизации. Основное внимание было уделено оптимизации таких параметров, как гранулометрия руды, концентрация цианида, температура раствора, а также применения современных методов, таких как использование активного угля для сорбции золота и внедрение безцианидных технологий.

Одним из ключевых выводов является то, что эффективность выщелачивания можно значительно повысить за счет оптимизации этих параметров. Улучшение гранулометрии руды и использование более эффективных реагентов позволяет ускорить процесс извлечения золота, а оптимизация температуры и pH раствора помогает поддерживать стабильность цианидных комплексов, что улучшает их реактивность. Эти изменения могут привести к существенному повышению коэффициента извлечения золота, особенно в условиях окисленных руд.

Также было продемонстрировано, что внедрение инновационных подходов, таких как биотехнологии и безцианидные технологии, может значительно улучшить экологическую безопасность процесса, снизив использование токсичных реагентов. Тиосульфатное выщелачивание и хлоридное выщелачивание становятся перспективными альтернативами цианидному выщелачиванию, обеспечивая более безопасные методы переработки золотоносных руд с аналогичной или даже большей эффективностью.

Важным аспектом является использование активного угля для сорбции золота, что позволяет не только повысить эффективность извлечения золота, но и улучшить качество раствора, уменьшив его токсичность и позволяя повторно использовать реагенты. Это способствует экономии на химических реагентах и снижению затрат на переработку.

Экономическая оценка оптимизированного процесса показала, что внедрение предложенных методов может существенно снизить операционные затраты, увеличить рентабельность проекта и снизить экологическое воздействие на окружающую среду. Прогнозирование прибыли и срока окупаемости показало, что оптимизация процессов выщелачивания и улучшение извлечения золота могут значительно повысить финансовые

показатели предприятия, что делает внедрение предложенных технологий выгодным как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Рекомендации, выработанные в ходе исследования, заключаются в том, чтобы продолжить внедрение более эффективных методов выщелачивания, таких как биотехнологии и безцианидные технологии, а также использовать методы регенерации цианидных растворов для повторного использования. Эти шаги позволят повысить эффективность переработки золотоносных руд, снизить воздействие на окружающую среду и улучшить экономику золотодобывающих предприятий.

В долгосрочной перспективе необходимо продолжать исследования в области новых реагентов, методов выщелачивания и совершенствования существующих технологий. Разработка и внедрение более устойчивых методов переработки руд позволит не только увеличить извлечение золота, но и сократить негативное воздействие на окружающую среду, что имеет решающее значение для устойчивого развития золотодобывающей отрасли. Таким образом, результаты исследования показывают, что оптимизация технологии кучного выщелачивания и внедрение инновационных технологий в процесс добычи золота на Васильевском месторождении могут существенно улучшить его эксплуатационные и экономические показатели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 И.В. Бегаев «Проект оценочных работ на золоторудном месторождении Васильевское в Жарминском районе Восточно-Казахстанской области на 2019-21 гг.»
- 2 Баранов С.Ф. «Отчет по поисково-оценочным работам на Акжал-Боконском рудном поле за 1984-85гг.» ВКПГО, Усть-Каменогорск, 1985.
- 3 Воронцов С.Н. «Геологическое строение и полезные ископаемые Акжал-Боконского рудного поля. Отчет Тарбагатайской партии по геологической съемке и доизучению масштаба 1:50 000 за 1983-87гг. На участке Акжалский». ВКПГО, Усть-Каменогорск, 1987.
- 4 Горбунов Ю.Д. «Отчет о проведении в 1976-78гг. детальных поисков на Акжал-Боконском участке». ВКТГУ, Усть-Каменогорск, 1978.
- 5 Ермоленко А.Е. Отчет по теме 91-2/110 «Составление прогнозно-металлогенических карт м-ба 1:50 000 с картами-врезками м-ба 1:10 000 по центральной части Золотой Калбы». ВКТГУ, Усть-Каменогорск, 19наг.
- 6 Игнатьев С.И. «Отчет о поисково-оценочных работах на северо-западном фланге Васильевского месторождения за 1985-87гг.». ВКПГО, Усть-Каменогорск, 1987.
- 7 Кагарманов А.Х. «Геологическое строение и полезные ископаемые листов М-44-104-В,Г (южная половина), 1963 г.
- 8 Лаптев Ю.В. Отчет по теме XXIV «Обобщение материалов разведочных и эксплуатационных работ и прогнозная оценка Бoko-Васильевского рудного поля». МЦМ КазССР, ЦКГТЭ, Семипалатинск, 1987.
- 9 Масленников В.В. «Детальные поиски на северо-западном фланге Васильевского месторождения за 1984-88гг.». МЦМ КазССР, ГОК «Алтайзолото», 1988.
- 10 Масленников В.В. «Предварительная разведка Боконской зоны на северо-западном фланге Васильевского рудного поля. Отчет Боконской ГРП о результатах работ на месторождении Токум и в зоне Южно-Боконского разлома за 1982-88гг.». МЦМ КазССР, ГОК «Алтайзолото», 1988.
- 11 «Пакет геолого-геофизической информации на северо-западный фланг Бoko-Васильевского рудного поля». ГЦГИ, Алматы, 2005.
- 12 Степанов А.Е. «Отчет о результатах поисковых работ на золото на контрактной территории ТОО «Чаралтын» за 1995-2001гг.». ТОО «Чаралтын», «Востказнедра», Усть-Каменогорск, 2003.

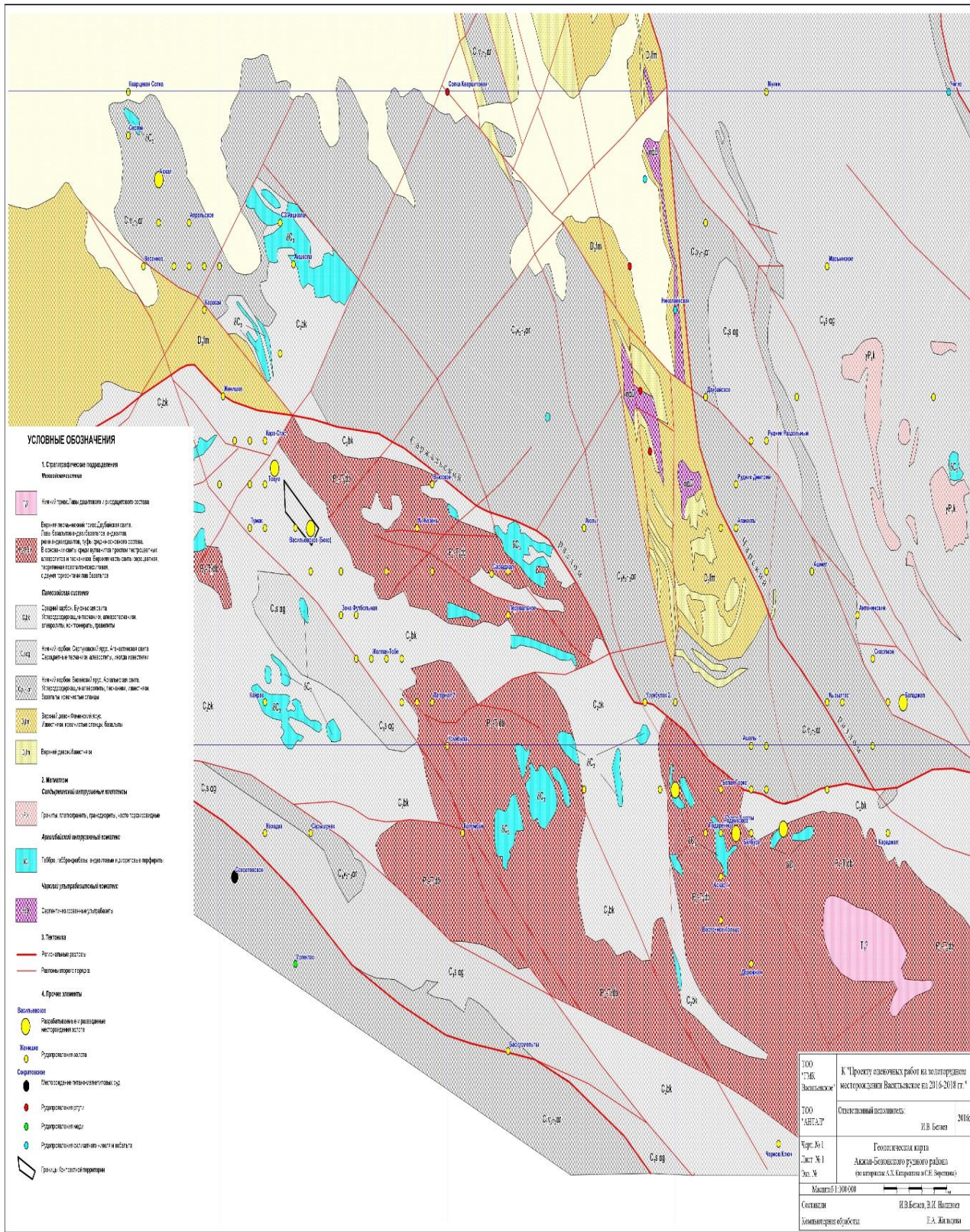
13 Предварительная геолого-экономическая оценка (ПГЭО) с подсчетом запасов золотосодержащих руд Северо-Западного фланга Боко-Васильевского рудного поля по состоянию на 1.01.2014г, ТОО «Маралды М», 2014

14 Сердюков А.Н. «Апробация запасов для опытно-промышленной отработки технологии кучного выщелачивания окисленных руд Васильевского месторождения». ОАО «АлматытехникаСнаб», Усть-Каменогорск, 2003.

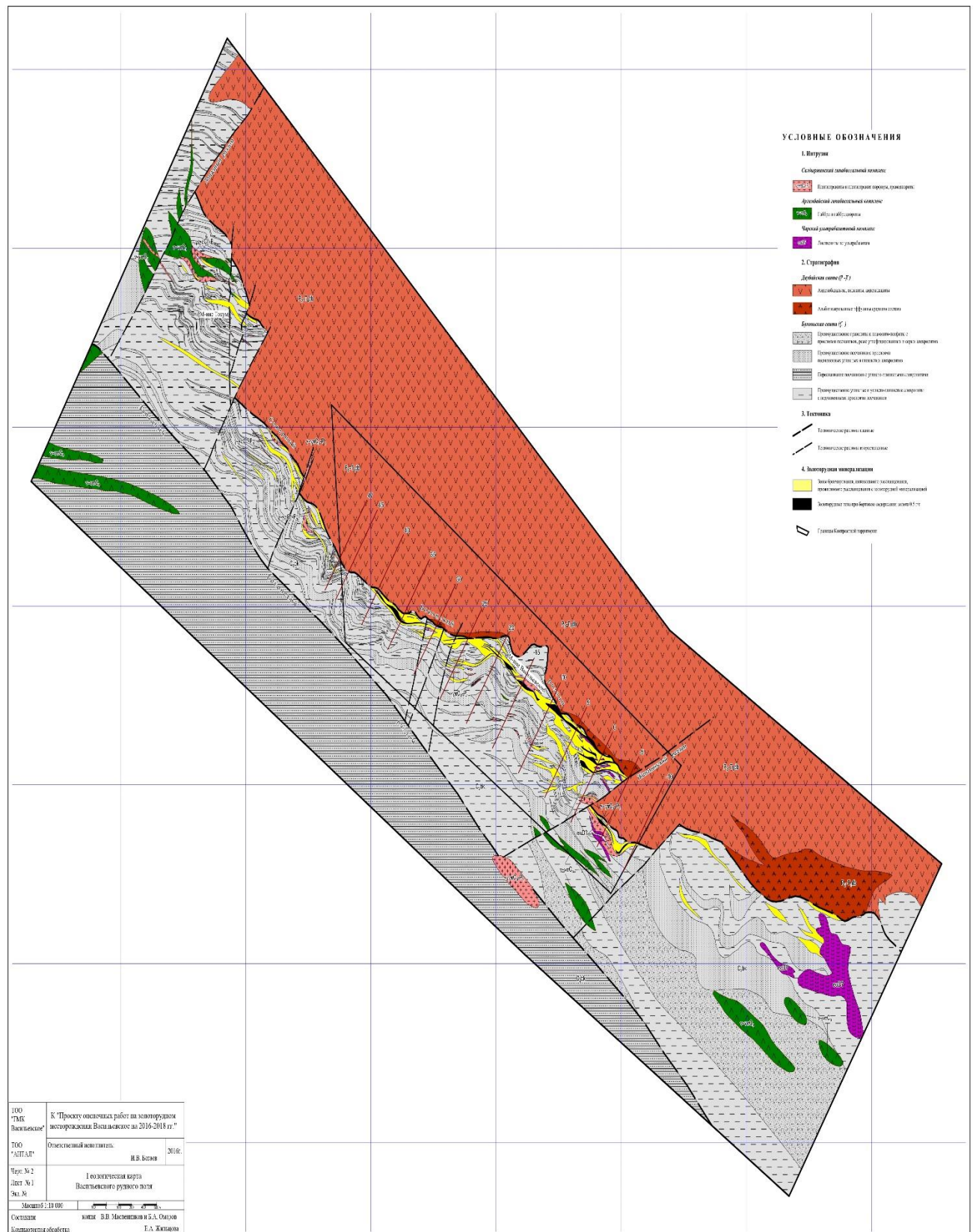
15 Овсейчук В.А., Резник Ю.Н., Мязин В.П. Геотехнологические методы добычи и переработки урановых и золотосодержащих руд: Учеб. пособие - Чита: ЧитГУ, 2005. – 315 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

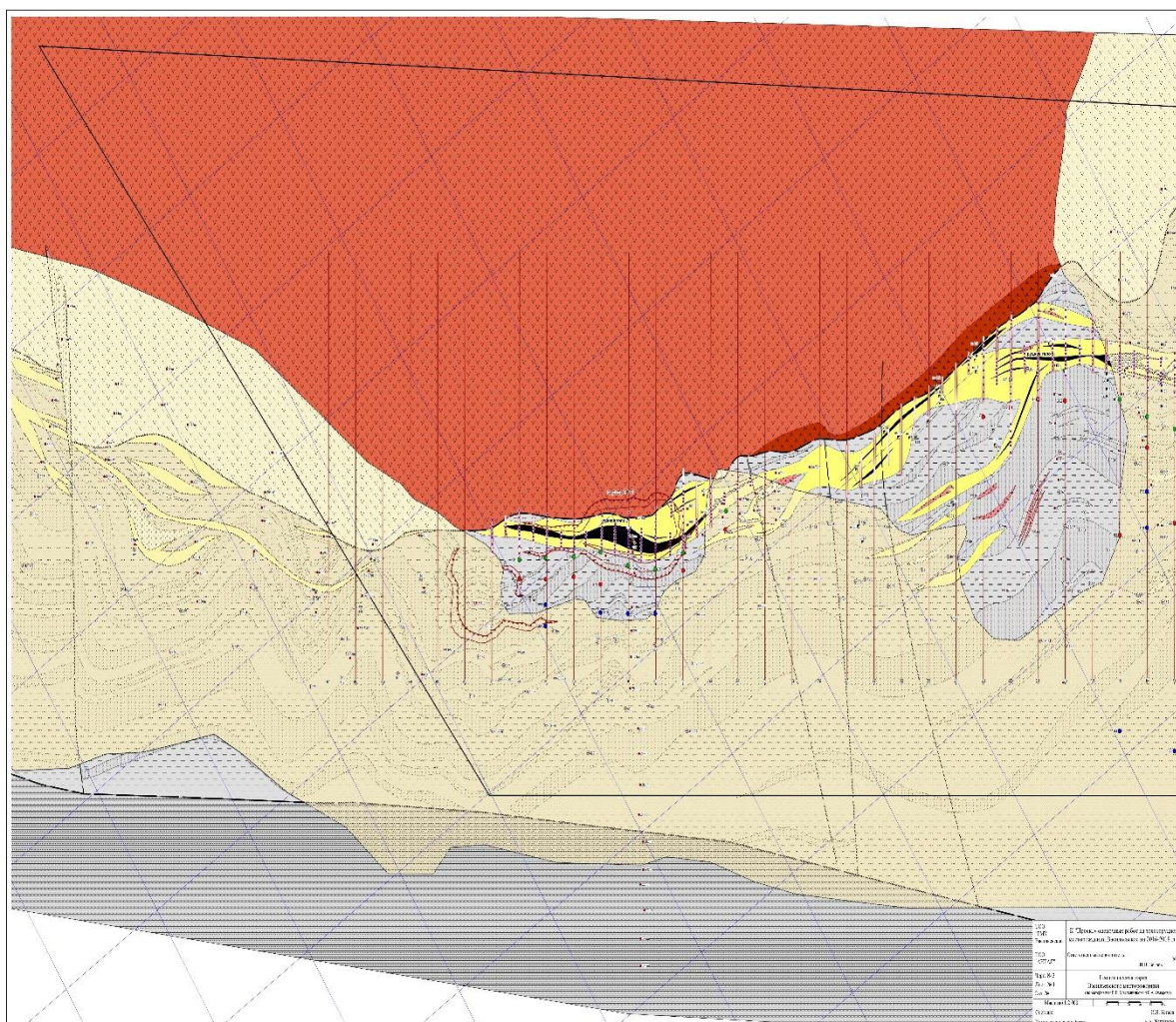
Геологическая карта региона 1:100000



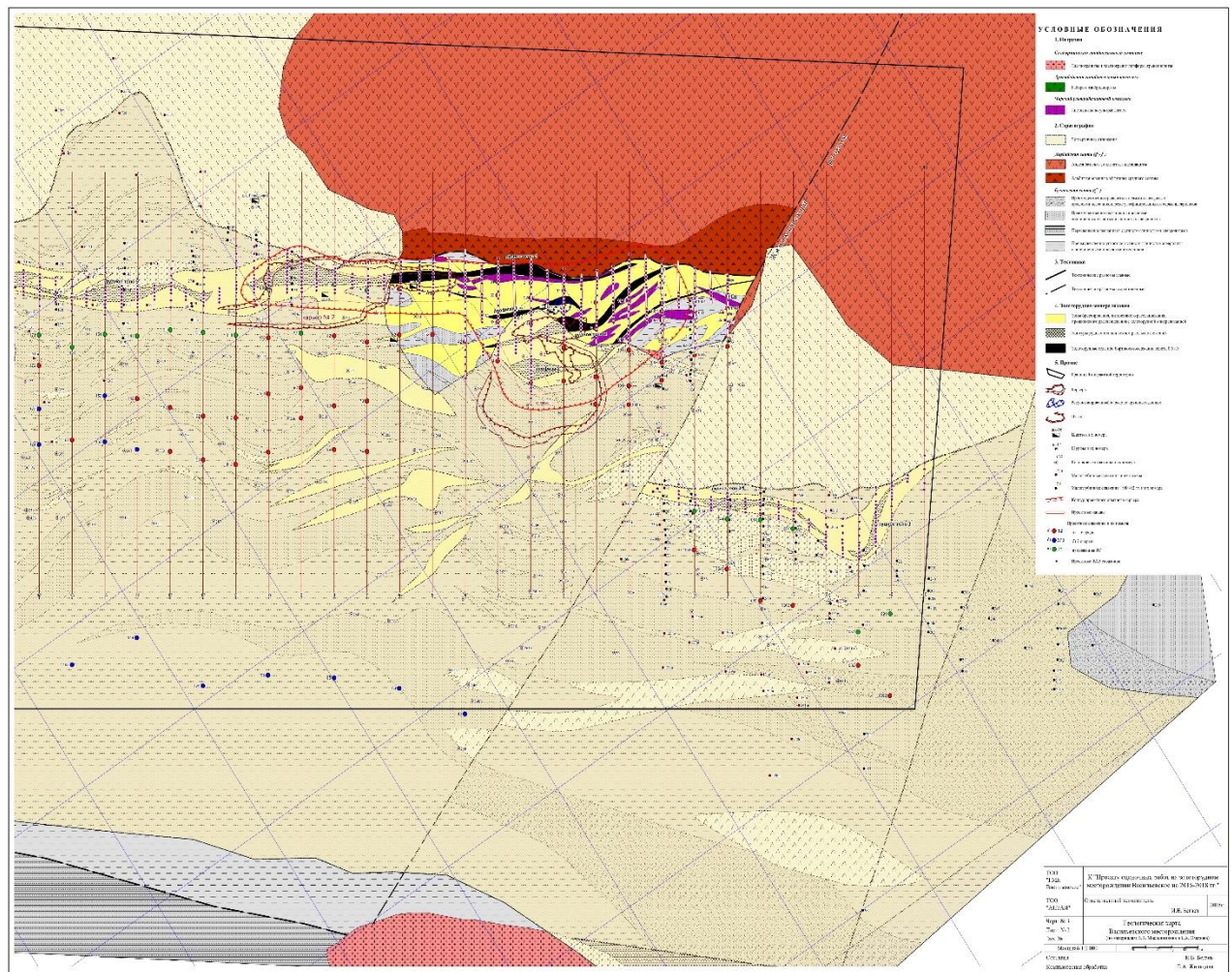
ПРИЛОЖЕНИЕ Б **Геологическая карта Васильевского рудного поля 1:10000**



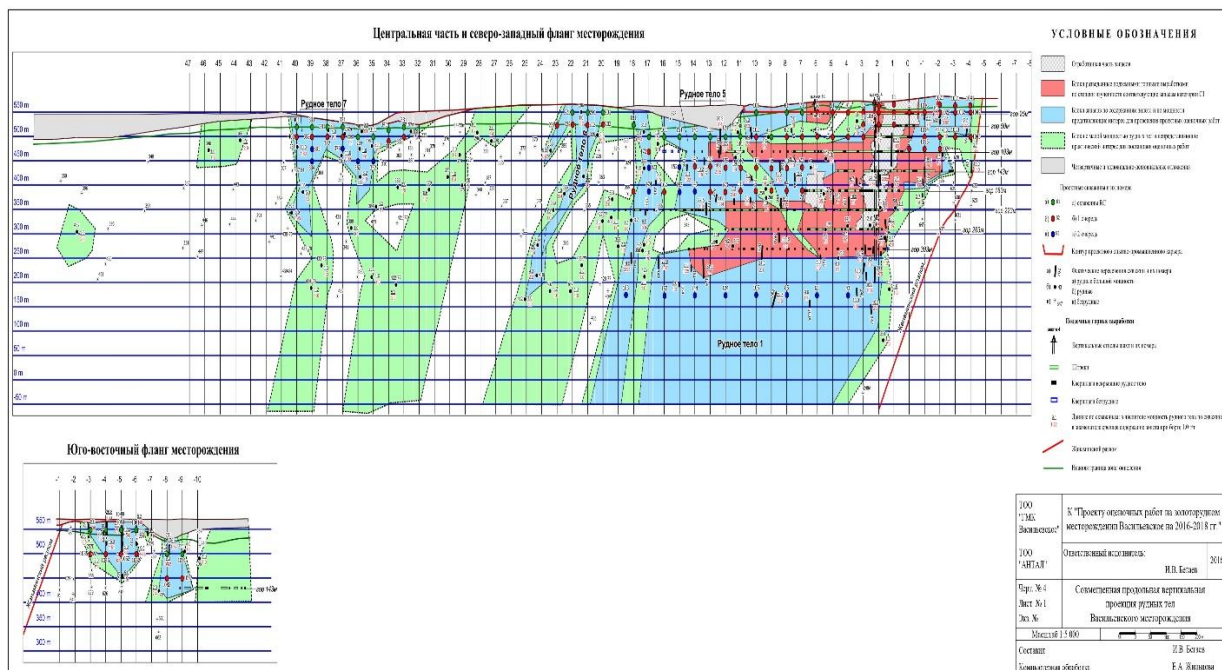
Геологическая карта Васильевского месторождения 1:2000



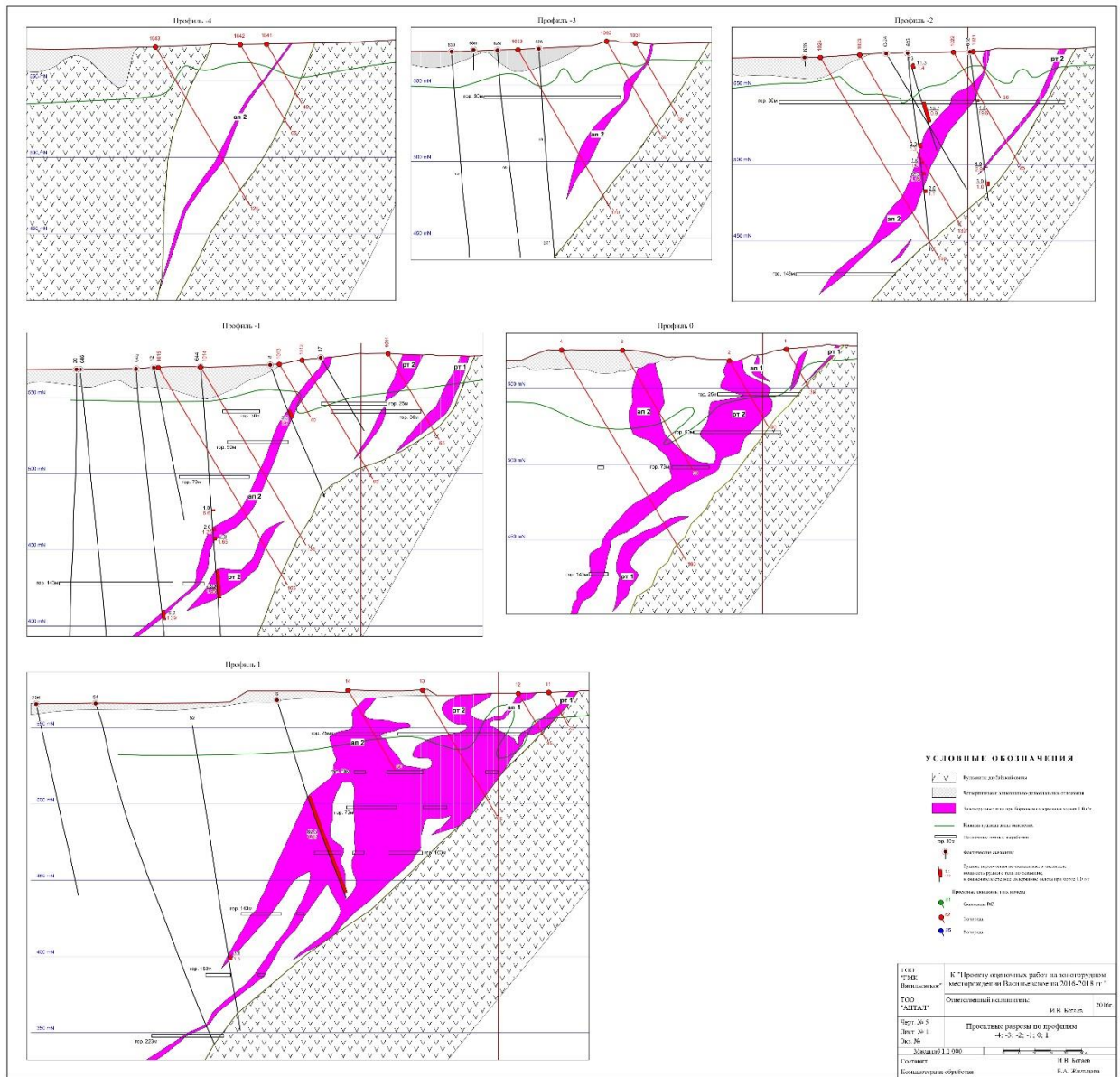
Геологическая карта Васильевского месторождения 1:2000



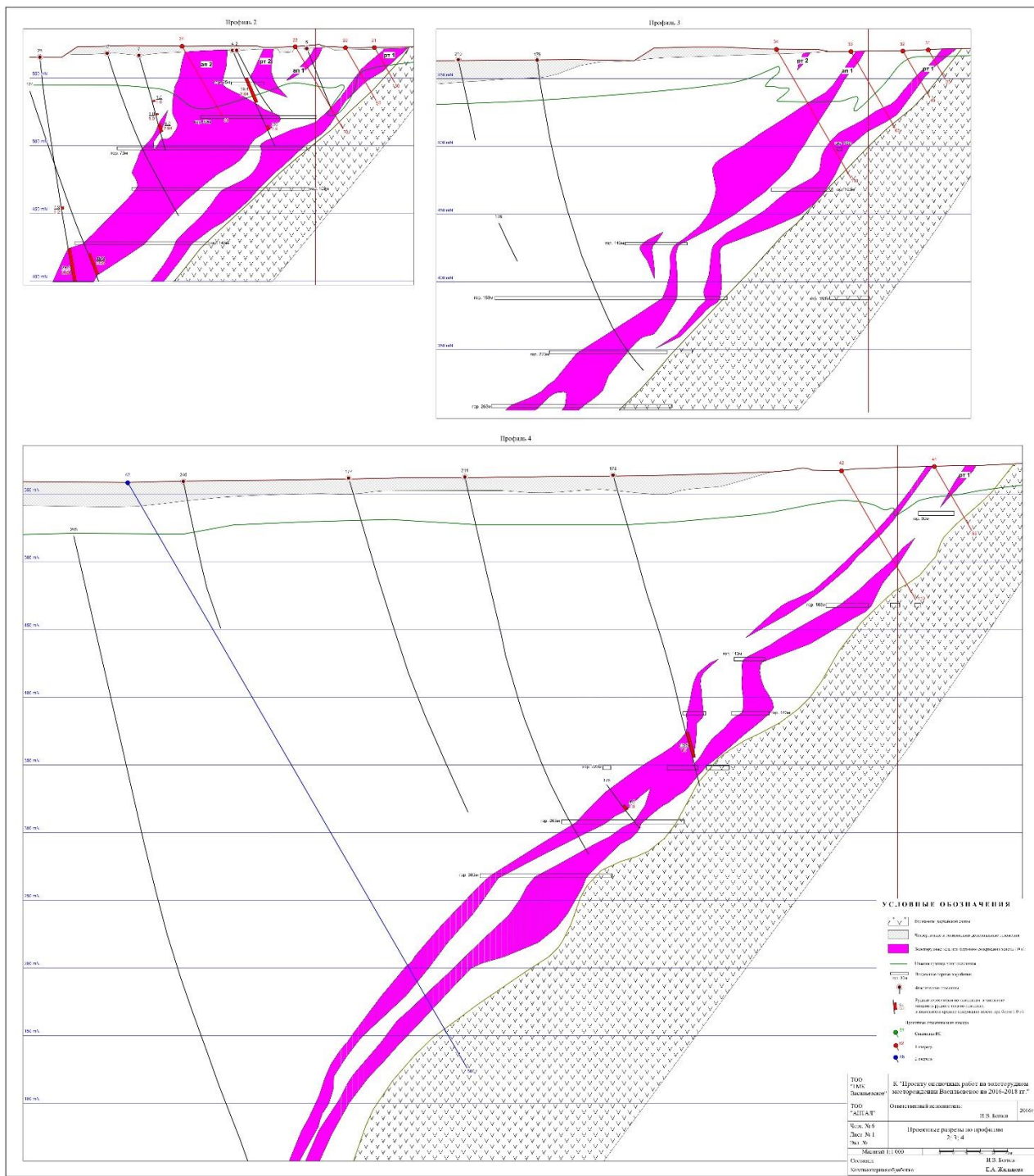
**Совмещенная продольная вертикальная проекция рудных тел
Васильевского месторождения 1:5000**



-4; -3; -2; -1; 0; 1 1:1000

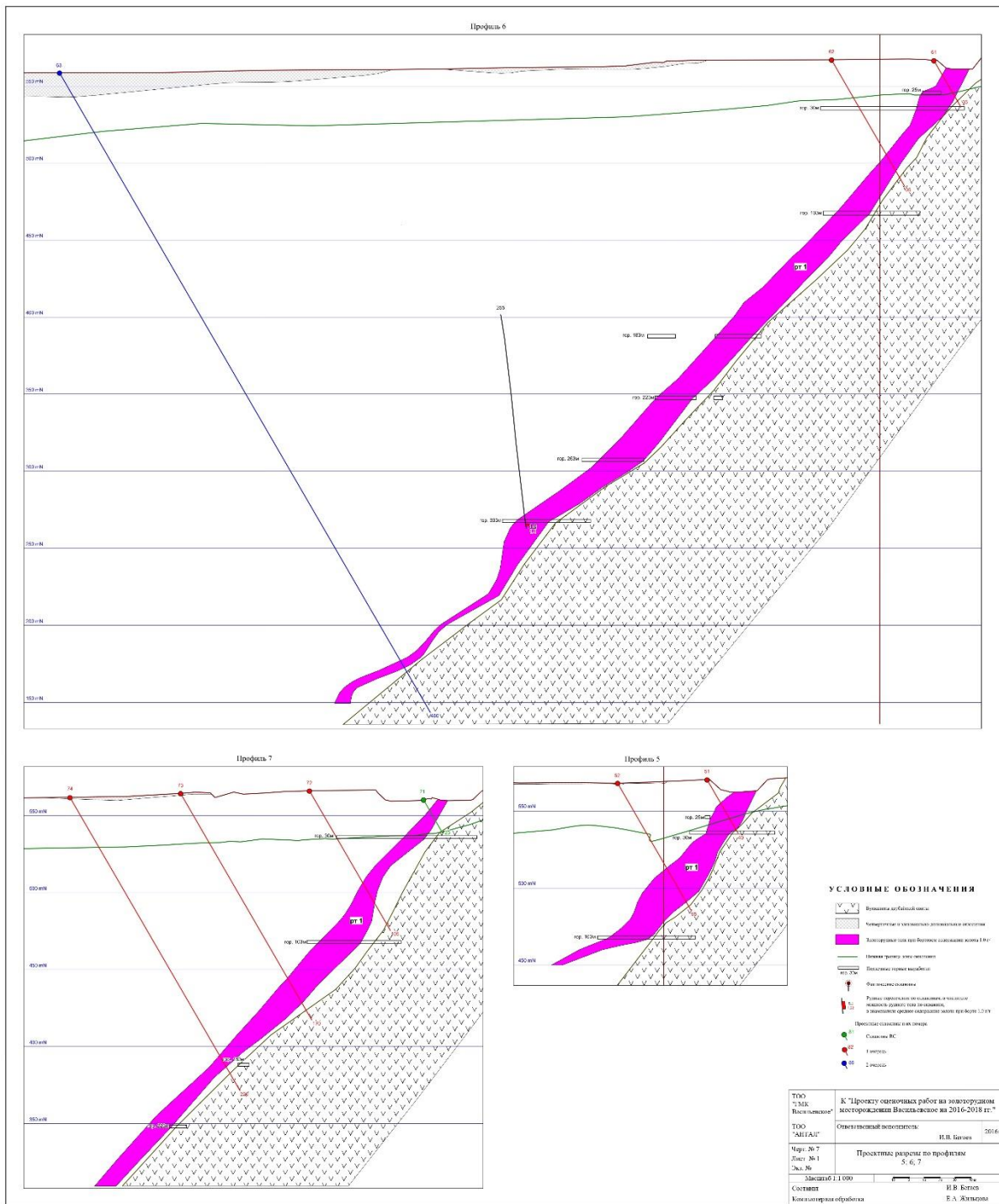


ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Проектные разрезы по профилям: 2; 3; 4. 1:1000



ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Проектные разрезы по профилям: 5; 6; 7. 1:1000



ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию

(наименование вида работы)

Нурмухамбета Даурена Темурулы

(Ф.И.О. обучающегося)

7M07206 – Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых
(шифр и наименование ОП)

Тема: «Оптимизация технологии кучного выщелачивания для извлечения полезных ископаемых на примере Васильевского золоторудного месторождения»

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к оптимизации технологии кучного выщелачивания на Васильевском месторождении, включающем анализ геологических, технологических и экологических аспектов. В результате проведенных исследований предложены инновационные решения, направленные на повышение эффективности процесса извлечения золота и снижение его негативного воздействия на окружающую среду.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных результатов для улучшения технологии переработки окисленных руд на Васильевском месторождении, что позволит повысить рентабельность и устойчивость горнодобывающего производства. Рекомендации, разработанные в рамках данной работы, могут быть использованы при оптимизации процессов кучного выщелачивания на других золоторудных месторождениях.

Структура и содержание работы полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям.

Диссертация Нурмухамбета Даурена является самостоятельным исследованием, имеющим научную новизну и практическую ценность.

Работа рекомендуется к защите, а ее автор достоин присуждения академической степени магистра по образовательной программе 7M07206 – Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых.

Научный руководитель

Доктор PhD, ассоциированный профессор
кафедры ГСПиРМПИ



Кембаев М.К.

(подпись)

«13» января 2025г.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Нұрмұхамбет Дәурен Темурұлы

Специальность 7M070600 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

на тему: Оптимизация технологии кучного выщелачивания для извлечения полезных ископаемых на примере Васильевского золоторудного месторождения

Выполнено:

- а) графическая часть на ___ листах
- б) пояснительная записка на ___ страницах

Диссертация посвящена актуальной проблеме геологической оценки месторождений и оптимизации добычи золота на примере Васильевского месторождения. Автором предложены методы геологической оценки месторождения, а также пути оптимизации процесса добычи золота с учетом геологических характеристик рудных тел.

Работа включает подробный анализ геологических условий, используемых методов добычи и переработки золота, а также экономическую оценку предложенных решений. Применение предложенных методов имеет высокую практическую значимость для улучшения технологии добычи и переработки руды.

Работа выполнена на высоком уровне, автор продемонстрировал глубокие знания в области геологии и горнодобывающей промышленности. Выводы и рекомендации аргументированы данными исследований и имеют практическую направленность.

Предложенные рекомендации по оптимизации добычи золота могут быть полезны для применения на Васильевском месторождении и других аналогичных объектах.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

- можно было привести сравнение с месторождением Мурынтау (Узбекистан).
- в списке использованной литературы мало приводятся статьи последних лет и зарубежная литература
- существенных недостатков в диссертационной работе не выявлено.

Рецензент считает, что магистерская диссертация отвечает всем требованиям и выполнена на высоком уровне. Автор демонстрирует хороший уровень теоретической подготовки, владение современными методами исследований и способность к самостоятельному анализу. Магистрант заслуживает оценки «90 %» и присуждения ему академической степени магистра геологии по специальности 7M070600 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых».

Рецензент

PhD, ассоциированный профессор,
Заведующий лабораторией редких и редкоземельных металлов,
Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева

 К.С. Тогизов
(подпись)
«13» января 2025 г.

