Bakirov Gayrat Kholikberdiyevich – PhD, Associate Professor of the Department of Mining; Almalyk State Technical Institute, 110100, Almalyk, Mirzo Ulugbek Str., 45, Uzbekistan.
E-mail: gayratbakirov3004@gmail.com
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-5471-6340

Nurkhonov Khusan Almirza ugli – PhD, Associate Professor of the Department of Geology and Mining; Karshi State Technical University, Karshi, Nasaf Str., 6, Uzbekistan.
E-mail: nurxonovxusan@gmail.com
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4526-7211

Zukhritdinov Davronbek Khusniddin ugli – PhD Student; Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Tashkent, University Str., 2, Uzbekistan.
E-mail: zuxritdinovdavronbek@gmail.com
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-4079-3225

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД С УЧЁТОМ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ

Раимжанов Б.Р., Косимов М.О.
Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г. Алмалык, Узбекистан.

Doi: 10.5281/zenodo.23663831

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен выбор систем разработки золоторудных месторождений с позиции рационального использования запасов и снижения потерь и разубоживания руды. Проанализирована взаимосвязь геологических условий, устойчивости массива, способов подготовки и очистной выемки с полнотой извлечения полезного ископаемого. Выделены контролируемые технологические факторы, связанные с точностью геолого-маркшейдерской информации, параметрами буровзрывных работ, последовательностью отработки, организацией выпуска и доставки руды, а также природные факторы, ограничивающие управляемость процесса. Рассмотрены системы разработки с магазинированием руды, горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства, подэтажными штреками и с использованием проходческого комплекса КПВ-1. Для сопоставления сформирован сравнительно-аналитический подход, учитывающий основные источники потерь, вероятные причины разубоживания и степень их технологической управляемости. Показано, что рациональный выбор системы разработки не может основываться только на производительности или капитальных затратах: необходимо одновременно учитывать геометрические параметры рудного тела, устойчивость руды и вмещающих пород, качество выпуска и объем оставляемых в недрах запасов. Предложенные положения могут использоваться при выборе и корректировке технологии отработки отдельных блоков золотосодержащих рудных месторождений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

система разработки, золоторудное месторождение, потери руды, разубоживание, рациональное использование недр, магазинирование, закладка, подэтажные штреки, буровзрывные работы, выпуск руды, геолого-маркшейдерское сопровождение.

Введение.

Выбор системы разработки является одним из основных технологических решений при подземной добыче золоторудных месторождений. От него зависят порядок подготовки запасов, размеры очистных блоков, способ поддержания выработанного пространства, параметры буровзрывных работ, условия выпуска и доставки руды, а также возможности управления потерями и разубоживанием. Поэтому сравнение вариантов систем разработки должно проводиться не только по производительности и капитальным затратам,

но и по способности системы разработки обеспечить максимальное извлечение руды при ограниченном вовлечении вмещающих пород [1–5].

Для месторождений сложного строения выбор технологии дополнительно осложняется изменчивостью мощности и формы рудных тел, тектонической нарушенностью, трещиноватостью и различной устойчивостью руды и вмещающих пород. Задача выбора системы разработки заключается в согласовании геологических условий и технологических возможностей с требованием минимизации потерь и разубоживания.

Целью данных исследований является обоснование выбора систем разработки на основе сравнительного анализа источников потерь, причин разубоживания и степени технологической управляемости соответствующих факторов.

Методы исследования

Исследование выполнено сравнительно-аналитическим методом: для каждой системы разработки рассматриваются условия применения, основные технологические параметры, потенциальные источники потерь и разубоживания, а также факторы, которые могут быть изменены организационными и инженерными мероприятиями.

Для унификации последующего производственного контроля целесообразно сопоставлять фактические показатели с балансовыми и проектными запасами.

Относительные потери руды могут определяться по выражению:

$$П = (Q_б – Q_р) / Q_б \cdot 100\ \%, \quad (1)$$

где $Q_б$ - балансовое количество руды в рассматриваемом объеме; $Q_р$ - количество извлеченной руды.

Разубоживание можно оценивать как долю некондиционной породы в добытой горной массе:

$$Р = Q_п / (Q_р + Q_п) \cdot 100\ \%, \quad (2)$$

где Qп - количество вовлеченной вмещающей породы.

Эффективность подземной добычи золотосодержащих руд должна оцениваться не только по объему добычи, но и по соотношению проектных, нормативных и фактических показателей потерь и разубоживания. Такое сопоставление позволяет выявлять участки, где снижение качества рудной массы обусловлено не геологической изменчивостью, а отклонениями технологии от принятого проекта отработки.

Потери и разубоживание формируются под совместным воздействием геологических условий и качества выполнения технологических операций. Для целей выбора системы разработки факторы целесообразно разделять на управляемые технологические и природные. Такое разделение позволяет отличить ограничения, обусловленные строением месторождения, от потерь, которые могут быть снижены инженерными и организационными мероприятиями.

Факторы формирования потерь и разубоживания:

- качество геолого-маркшейдерской информации: точность определения контура, мощности и положения рудного тела;
- параметры принятой системы разработки: размеры блоков, этажность, ширина и положение целиков, направление и последовательность отработки;
- проектная минимальная промышленная мощность и бортовое содержание, определяющие границы вовлечения руды в выемку;
- соблюдение плановой последовательности подготовки и отработки блоков и горизонтов;

Факторы подготовки и порядка отработки:

- точность проведения подготовительно-нарезных выработок и соответствие их проектному контуру;
- соблюдение проектной последовательности вскрытия, подготовки и очистной выемки.

Технологические факторы очистной выемки:

- точность бурения и качество взрывных работ, включая перебуры и недобуры;
- параметры компенсационных щелей и схема инициирования;
- удельный расход взрывчатых веществ и соответствие параметров отбойки геометрии блока;
- высота и ширина очистного пространства и соответствие паспорту буровзрывных работ;
- качество отбойки по проектному контуру и степень вовлечения вмещающих пород;
- организация выпуска руды, включая управление выпуском под налегающими породами;
- равномерность и полнота выпуска, контроль зависаний и перекоса выпускных воронок;
- условия доставки и транспортирования, влияющие на сохранность извлеченной руды и возможность селективной выемки.

К природным факторам относятся:

- геологическое строение и морфология рудных тел, сложность контактов и тектонические нарушения;
- минеральный состав и пространственная изменчивость содержания полезных компонентов;
- прочностные и деформационные свойства руды и вмещающих пород;
- степень трещиноватости и изменчивость мощности рудных тел, влияющие на устойчивость выработок и характер разрушения массива.

Особое значение имеет совместная оценка трещиноватости и тектонической нарушенности.

Ослабленные зоны могут изменять устойчивость обнажений, характер разрушения при буровзрывной отбойке руды и условия выпуска, поэтому их положение должно учитываться при определении размеров очистного пространства и выборе способа управления кровлей.

Природные особенности не могут быть устранены, однако их влияние может быть снижено рациональным выбором системы разработки, уменьшением размеров открытого пространства, применением закладки, корректировкой параметров буровзрывных работ и усилением геолого-маркшейдерского контроля.

Характеристика рассматриваемых систем разработки

Правильный выбор системы разработки определяет последовательность подготовительных, нарезных и очистных работ, размеры очистных блоков, объем оставляемых целиков и характер взаимодействия отбитой руды с вмещающими породами. Поэтому для целей рационального использования недр необходимо оценивать не только производительность системы разработки, но и управляемость потерь и разубоживания.

Подробно рассматриваются четыре варианта систем разработки: система разработки с магазинированием руды, система разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства, система разработки подэтажными штреками и вариант с использованием проходческого комплекса КПВ-1.

Сравнение выполняется по единой логике: геометрические условия применения → параметры подготовки и очистной выемки → источники потерь → источники разубоживания → возможности технологического контроля. Такой порядок позволяет перейти от описания систем разработки к их обоснованному сопоставлению.

Универсальной системы разработки для всех геологических условий не существует. Для каждого участка следует выбирать такой вариант, при котором устойчивость массива, морфология рудного тела и параметры выемки согласуются с требованием сохранения проектного контура и полноты выпуска [2-4].

Система разработки с магазинированием руды. Магазинирование предусматривает временное заполнение выработанного пространства отбитой рудой, которая одновременно используется как рабочая площадка для последующих операций. Технология требует устойчивого массива и строгого контроля состояния вмещающих пород и последовательности выпуска. Основные риски потерь связаны с оставлением руды в целиках и неполным выпуском, а разубоживания - с обрушением боковых пород и нарушением управляемости выпуска.

При магазинировании эффективность извлечения руды зависит от сохранения проектной геометрии очистного пространства и равномерного выпуска руды. Параметры блока, ширина междукамерных целиков, толщина днища и потолочины, а также расстояние между выпускными воронками задают условия последующего извлечения запасов.

Средствами поддержания вмещающих пород служат междукамерные и междуэтажные целики, а при соответствующей технологии - закладочный массив. Наличие значительных целиков снижает непосредственную опасность разрушения массива, но одновременно увеличивает объем временно или постоянно оставленных запасов, что необходимо учитывать при оценке потерь.

Наряду с классической схемой магазинирования применяются варианты с частичным выпуском, усиленным креплением и комбинированием с другими способами поддержания выработанного пространства. Такие варианты должны оцениваться с учетом устойчивости боковых пород, мощности рудного тела и возможности селективного отделения пустых пород от промышленной руды. Параметры системы разработки:

- длина блока по простиранию - 60 м;
- высота блока - 60 м;
- ширина блока - равна мощности рудного тела;
- толщина днища - 5–7 м;
- толщина потолочины - 4–6 м;
- ширина междукамерных целиков - 6–8 м;
- расстояние между выпускными воронками 4–5 м.

Подготовка блока включает проведение откаточных и подготовительных выработок, ортов-заездов, блоковых восстающих, выработок для скреперования, выпускных дучек и воронок. Отбойка руды осуществляется шпуровым методом. Точность контура и качество выпуска являются ключевыми параметрами, определяющими соотношение потерь и разубоживания.

Система разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства. Последовательная выемка руды слоями с последующим заполнением образующегося пространства закладочным материалом позволяет ограничивать открытое пространство и повышать управляемость устойчивостью массива. В контексте рационального использования недр такая система разработки создает условия для более полного

извлечения запасов при контролируемом состоянии вмещающих пород.

При использовании твердеющей закладки целики могут отрабатываться на последующей стадии. Качество закладки и точность контуров имеют принципиальное значение: попадание закладочного материала в рудную массу может становиться самостоятельным источником разубоживания.

Система разработки подэтажными штреками. Параметры системы разработки:

- длина блока по простиранию - 60 м;
- высота блока - 60 м;
- ширина блока – равна мощности рудного тела;
- ширина междублоковых целиков - 8 м;
- расстояние между погрузочными ортами - 10 м;
- высота подэтажа - 10–15 м.

Подготовка блоков включает проведение полевого откаточного штрека, материально-ходового восстающего, рудоспуска, ортов-заездов, блоковых восстающих и погрузочных выработок. При отбойке глубокими веерами скважин возрастает значение точности положения скважин, параметров сетки и границ взрываемого блока: отклонение от проектной геометрии может одновременно увеличивать потери по контуру и вовлекать в рудную массу вмещающие породы.

Отбойка руды предусматривается глубокими скважинами. Веера скважин располагаются в вертикальной плоскости и разбуриваются из подэтажных штреков. Отбитая руда аккумулируется в подсечке на горизонте доставки и с помощью погрузочно-доставочной машины ПДМ доставляется к блоковому рудоспуску, по которому руда поступает на нижний откаточный горизонт.

Вариант системы разработки с использованием проходческого комплекса КПВ-1. Из восстающего, расположенного в средней части блока, с полка комплекса бурятся горизонтальные скважины диаметром 56 мм. Сокращение длины скважин является технологическим преимуществом схемы, однако ее эффективность с точки зрения рационального использования запасов также определяется точностью бурения, соответствием проектному контуру и последующей организацией выпуска руды и доставки.

Технологические схемы выпуска и доставки руды могут изменяться от скреперной доставки до применения самоходных машин. Для всех рассматриваемых систем разработки организация выпуска должна рассматриваться как самостоятельный элемент формирования фактических потерь и разубоживания, поскольку даже технически обоснованная схема отбойки не гарантирует полноты извлечения при нарушении режима выпуска [5-6].

Сравнительная оценка систем разработки по потерям и разубоживанию

Сопоставление рассматриваемых систем разработки показывает, что каждая из них имеет собственный набор критических факторов. В табл.1 приведена качественная сравнительная оценка, составленная на основе приведенных технологических схем и описаний. Она не заменяет расчет фактических показателей для конкретного месторождения, а используется как инструмент предварительного выбора и определения направлений технологического контроля.

Таблица 1

Сравнительная оценка рассматриваемых систем разработки

Система разработки	Потери руды	Разубоживание	Практическая оценка выбора
Магазинирование	Целики; неполный выпуск; остатки руды	Обрушение боковых пород; нарушение выпуска	Применима при благоприятной устойчивости массива и надежном контроле выпуска
Горизонтальные слои с закладкой	Остатки на контактах; временно оставленные запасы	Попадание закладки в руду; отклонение контура	Предпочтительна при сложной геомеханике и необходимости ограничить открытое пространство
Подэтажные штреки	Потери в междублоковых целиках; по контуру; недоотбой	Переразрушение пород; отклонение вееров скважин	Целесообразна при устойчивом массиве и точном контроле глубокого бурения
КПВ-1	Потери по контуру и в необработанных участках	Переразрушение массива; отклонение горизонтальных скважин	Рациональна при соответствующей геометрии блока и возможности сократить длину скважин

Из таблицы следует, что наиболее управляемыми являются решения, позволяющие уменьшить объем открытого пространства и обеспечить контролируемое отделение руды от вмещающих пород. При этом повышение полноты извлечения может сопровождаться дополнительными затратами на закладку, подготовку и контроль. Поэтому окончательный выбор должен выполняться по конкретным горно-геологическим условиям и технико-экономическим ограничениям.

Практические положения по выбору системы разработки

Для предварительного выбора системы разработки рекомендуется последовательно проверить: соответствие морфологии и мощности рудного тела; устойчивость руды и вмещающих пород; возможность поддержания и управления открытым пространством; ожидаемые источники потерь и разубоживания; возможность контроля фактического контура, параметров бурения и выпуска руды.

При устойчивых условиях и возможности обеспечить точную отбойку и выпуск может применяться система разработки с магазинированием или подэтажными штреками. При повышенной геомеханической сложности и необходимости ограничения открытого пространства преимущество может получать система разработки с закладкой. Вариант с КПВ-1 следует оценивать по соответствию геометрии блока возможностям комплекса и по способности сократить длину скважин без ухудшения проектного контура.

Ключевым условием рационального использования недр является постоянный контроль фактических показателей. Геолого-маркшейдерская служба должна сопоставлять проектный и фактический контуры, параметры бурения и взрывания, состояние выпускных выработок, объем добытой руды и признаки вовлечения вмещающих пород. Такая обратная связь позволяет своевременно корректировать паспорта очистных работ и параметры отработки блоков [7-9].

Выводы.

1. Выбор системы разработки золоторудного месторождения должен выполняться с учетом не только производительности и капитальных затрат, но и ожидаемого уровня потерь и разубоживания. Наиболее важными исходными условиями являются форма и мощность рудного тела, устойчивость массива, характер контактов и возможность управления открытым пространством.

2. Основные источники потерь связаны с оставлением руды в целиках, неполной отбойкой и выпуском, а также с потерями по контуру. Разубоживание преимущественно формируется при примешивании вмещающих пород, нарушении проектной геометрии очистного пространства и недостаточном контроле выпуска. Это требует раздельного учета причин и адресных технологических мероприятий.

3. Система разработки горизонтальными слоями с закладкой обладает высокой управляемостью в условиях необходимости ограничения открытого пространства; системы разработки с магазинированием и подэтажными штреками эффективны при соответствующей устойчивости массива и точном выполнении параметров очистной выемки; применение КПВ-1 целесообразно связывать с соответствием геометрии блока возможностям комплекса. Окончательный выбор должен подтверждаться расчетом фактических показателей потерь и разубоживания для конкретного блока.

REFERENCES

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. Учебник для вузов. 4-е издание, перераб. и доп. - М.: Недра, 1984. – 359 с.

2. Имашев А.Ж., Суимбаева А.М., Мусин А.А. Прогнозная оценка разубоживания руды при отработке маломощных крутопадающих залежей системой подэтажных штреков // Записки Горного института. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2024. – Т. 266. – С. 283-294.

3. Лизункин В.М., Лизункин М.В., Рабольт А.Н., Гуров С.Г. Результаты опытно-промышленных испытаний технологии отработки маломощных пологопадающих пластообразных рудных залежей расширенными заходками // Горный журнал, 2019. – № 1. – С. 37-40.

4. Савич И.Н. Проблемы применения систем с принудительным обрушением при подземной разработке рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: Горная книга, 2014. – № 1. – С. 366-373.

5. Ткач С.М., Батугин С.А., Баракаева И.Д. Объективная оценка разубоживания руд – перспективный путь повышения ресурсного потенциала недр // Горный журнал. – Москва: Издательский дом «Руда и металлы», 2016. – № 1. – С. 37-40.

6. Батугин С.А., Ткач С.М., Баракаева И.Д. Развитие методологических основ определения и учета разубоживания руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: Горная книга, 2012. – № 9. – С. 312-319.

7. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2021. – 340 с.

8. Павлов А.М., Васильев Д.С. Совершенствование технологии подземной разработки тонких крутопадающих тел золоторудного месторождения Коневинского // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых, 2017. – Т. 40. – № 2. – С. 88-94.

9. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Тимохин А.В., Яковлев А.М. Совершенствование методов учета повышенных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва, 2020. – № 3-1. – С.453-464.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Raimzhanov Bakhadirzhan Raimzhanovich — Doctor of Technical Sciences (DSc), Professor of the Department of Mining; Almalyk Branch of the National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS), 110105, Almalyk, Tashkent Region, Amir Temur Str., 56, Uzbekistan. E-mail: b.raimjanov@mail.ru ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0395-1181

Kosimov Mukhiddin Odilovich — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Mining; Almalyk Branch of the National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS), 110105, Almalyk, Tashkent Region, Amir Temur Str., 56, Uzbekistan. E-mail: kosimovmuhiddin25@gmail.com

METALLURGIYA SANOATI OQOVA SUVLARINI ELEKTROMAGNIT MAYDON ASOSIDA TOZALASH QURILMASINING ENERGETIK SAMARADORLIGINI BAHOLASH

M.O. Gafurova

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Doi: 10.5281/zenodo.23663897

ANNOTATSIYA Metallurgiya ishlab chiqarishining yuvish, boyitish va metall yuzalariga ishlov berish jarayonlarida hosil bo‘ladigan oqova suvlarni elektromagnit maydon asosida tozalash samaradorligi tadqiq qilindi. Uch tajriba tartibi bo‘yicha tozalangan suv hajmi, qoldiq konsentratsiya, tozalash darajasi va solishtirma energiya sarfi qiyosiy baholandi. Eng yuqori texnologik samaradorlik 96,66 %, energiya va tozalash darajasining eng maqbul nisbati esa 400 m³ hajmli tajriba tartibida aniqlandi. Elektromagnit qurilmaning oqilona ish tartibini tanlash uchun integral energetik mezon taklif etildi.

KALIT SO‘ZLAR oqova suv, elektromagnit maydon, tozalash samaradorligi, resurs tejamkorlik.

Metallurgiya korxonalarida rudani boyitish, yuvish, tozalash, sovitish va boshqa bosqichlar katta miqdorda texnik suv talab qiladi. Hosil bo‘ladigan oqova suv tarkibida temir, mis, nikel, rux, xrom, qo‘rg‘oshin birikmalari, metall oksidlari, mayda dispers zarrachalar, moy mahsulotlari hamda tuzlar bo‘lishi mumkin va bu suvni yetarli darajada tozalamasdan foydalanish suv obyektlarining ikkilamchi ifloslanishiga, ishlab chiqarish tizimiga qaytarish esa quvur va texnologik uskunalarda cho‘kma hamda korroziya sabab ishqalanish ortishi va elektr energiya sarfi ko‘payishiga olib keladi [1, 2].

Tarkibida metall zarrachalari mavjud oqova suvlar odatda neytrallash, reagentli koagulyatsiya, tindirish, filtrlash va membranali ajratish usullari bilan tozalanadi. Ularning samaradorligi yuqori bo‘lsa-da, kimyoviy reagent sarfi va ikkilamchi shlam hosil bo‘lishi ekspluatatsion xarajatlarni oshiradi. Elektromagnit ta’sir zaryadlangan va magnit sezgir zarrachalarning harakatini boshqarish, koagulyatsiya markazlarini yiriklashtirish va keyingi ajratish jarayonini jadallashtirish imkonini beradi [2, 3]. Shu sababli elektromagnit usulni metallurgiya oqova suvlarini qayta foydalanishga tayyorlashning dastlabki yoki kombinatsiyalangan bosqichi sifatida baholash dolzarbdir.

Tadqiqotning maqsadi elektromagnit maydon asosida ishlaydigan qurilmaning metallurgiya oqova