

На правах рукописи  
Для служебного пользования

Экз. № 8

Заболоцкий Александр Иванович

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ К ОТРАБОТКЕ СПОСОБОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых.  
Минерагения»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-  
минералогических наук

Екатеринбург, 2009 г.



На правах рукописи  
Для служебного пользования  
Экз. № 8

Заболоцкий Александр Иванович

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ К ОТРАБОТКЕ СПОСОБОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых.  
Минерагения»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-  
минералогических наук

Екатеринбург, 2009 г.

Работа выполнена в ООО «Уральская горно-металлургическая компания -  
Холдинг» г. Екатеринбург.

Официальные оппоненты:

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор

Грабовников В.А.

Доктор геолого-минералогических наук

Спешилев С.Л.

Доктор технических наук

Нестеров Ю.В.

Ведущая организация - ОАО "ВНИПИПромтехнологии".

Защита состоится 03.03 2010 года в 14 часов на заседании диссертационного совета ДС 201.003.02 при ОАО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» по адресу: г. Москва, ул. Каширское шоссе, д. 33, корпус 29, к. 25.

С диссертацией можно ознакомиться в технической библиотеке ОАО «ВНИИХТ».

Автореферат разослан 27.01 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор геолого-минералогических наук

  
В.М. Котова.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Подземное выщелачивание (ПВ) в плане добычи урана из гидрогенных месторождений в бывших республиках СССР достигло уровня индустрии, внося <sup>миллиарды</sup> заметный вклад в экономику государств. В связи с истощением запасов богатых, легкообогатимых руд в крупных месторождениях с благоприятными горно-геологическими условиями добычи в РФ наметилась четкая тенденция по использованию геотехнологических способов разработки природных и техногенных месторождений цветных и благородных металлов (МЦБМ).

Опыт использования ПВ на рудных МЦБМ пока не велик, но наметившиеся в последние годы тенденции свидетельствуют о реальных перспективах этого способа. В настоящее время на Урале ведется опытно-промышленная и промышленная добыча способом ПВ золота, меди, никеля из месторождений в корах выветривания, из техногенных месторождений и затопленных рудников.

Новизна способа ПВ применительно к рудным месторождениям предопределяет необходимость разработки методологических основ подготовки месторождений к отработке на различных стадиях процесса геологического изучения. Актуальность такой задачи и необходимость ее решения связана с тем, что современная методологическая база практически не учитывает специфических особенностей способа ПВ МЦБМ. Фактически эта проблема требует разработки отдельных регламентирующих документов. Опыт подготовки ныне обрабатываемых способом ПВ месторождений с участием автора является солидным банком данных для формирования такой нормативной базы.

Флагманом в становлении способа от его зарождения до выхода на уровень передовой мировой технологии является головной научно-исследовательский институт бывшего министерства среднего машиностроения СССР – ВНИИХТ. В создании фундаментальных основ подземного выщелачивания во всех его аспектах принимали известные ученые и практики нашего Отечества: Скороваров Д.И., Шаталов В.В., Петров Р.П., Бахуров В.Г., Вечеркин С.Г., Луценко И.К., Кириченко И.П., Кедровский О.Л., Мосинец В.Н., Лобанов Д.П., Шумилин М.В., Кротков В.В., Нестеров

Ю.В., Грабовников В.А., Абдульманов И.Г., Фазлуллин М.И., Арэнс В.Ж., Толстов Е.А., Бровин К.Г., Новосельцев В.В. и др.

**Объектами исследований** по теме работы являются месторождения золота в корах выветривания (Гагарское, Маминское, Верхотурское, Васин, Эльдorado, Каталамбию), золотоносные россыпи (Лев-Татьянинский Увал, Фартовая, В.Веле), месторождения в нарушенном горными работами пространстве (Гумешевское – медь, Советское - золото), месторождения силикатных никелевых руд (Рогожинское, Кунгурское), техногенные месторождения (Кировградские и Мелеузовские пиритные огарки).

**Цель и задачи исследований.** Цель - разработка методологических основ подготовки и рекомендаций по освоению МЦБМ способом подземного выщелачивания. Отсюда вытекает круг решаемых задач.

1. Анализ опыта ПВ урана, накопленный за более чем 50-летнюю историю существования этой отрасли в странах СНГ и мире, применительно к принципиально иным горно-геологическим условиям.
2. Определение геологических, гидрогеологических, минералого-химических и экологических условий применимости технологии, систем разработки (СР), технических и экологических решений для отработки способом ПВ возможных типов МЦБМ.
3. Определение основных характерных параметров СР применительно к типичным природным условиям возможных объектов ПВ и разработка рекомендации по их испытаниям на разных стадиях геологоразведочного процесса.
4. Разработка принципиальной концепции системы экологической безопасности рудников ПВ.
5. Создание на базе опыта действующих предприятий ПВ методологических основ подготовки месторождений в аспекте разработки технологических схем, СР, изучения гидрогеологических и экологических условий.

**Исходные материалы.** Автор, будучи сотрудником ВНИИХТа, работал над проблемами совершенствования подземного выщелачивания урана на многих среднеазиатских месторождениях. Накопленный в урановой отрасли опыт использовался при внедрении ПВ на МЦБМ.

*Введен*  
Автор руководил и непосредственно участвовал в подготовке к освоению месторождений (объектов исследований) на всех этапах процесса: оценка пригодности объекта для ПВ, полевые поисковые и оценочные работы, лабораторные исследования технологических свойств и разработка технологий, изучение фильтрационных свойств в лабораторных и полевых условиях, проведение опытных гидродинамических и технологических испытаний, разработка технологических регламентов, проектов, томов ОВОС, защита проектов в государственных органах, мониторинг ОС на всех стадиях, разработка геологических и экологических отчетов, в том числе ТЭО кондиций и отчетов с подсчетом запасов с защитой в ГКЗ.

**Методы исследований.** Первичный метод решения задач – системный анализ информации по объектам исследований. В полевых условиях использовались передовые методологии отбора представительных проб руд, подземных вод. В лабораторных условиях использовались современные методы оценки фильтрационных и технологических свойств. При выборе технологических схем основными методами являлись лабораторные и полевые эксперименты, моделирующие выбранные технологические процессы. При обработке материалов использовались вероятностно-статистические, картографические методы, математическое моделирование с применением компьютерных технологий.

#### Научная новизна:

- всесторонним анализом обоснована предпочтительность оксихлоридных растворителей для ПВ золота;
- обоснована пригодность месторождений в корах выветривания, в затопленных рудниках и техногенных образованиях для отработки способом ПВ, представляющих новый промышленный тип;
- предложена система факторной оценки пригодности месторождений к отработке способом ПВ;
- впервые проведена систематизация геотехнологических типов разрезов (ГТР) в корах выветривания на группы и классы по комплексу классификационных признаков: фильтрационная и технологическая неоднородность, положение руд относительно уровня грунтовых вод (УГВ), экологическая напряженность региона, морфология залежей;

- предложена типизация СР применительно к различным ГТР по признакам:  
1 - механизм движения растворов, 2 - конфигурация вскрывающей сетки выработок,  
3 - расположение фильтров, 4 - тип вскрывающих горных выработок, 5 -- природо-  
охранные мероприятия;

- разработана система экологической безопасности способа ПВ, базирующаяся на 6-ти уровнях защиты ОС: 1 - применение надежных СР, исключающих растекание рабочих растворов; 2 - комплекс оперативного устранения аварийных растеканий; 3 - комплекс очистки природных вод от допущенных загрязнений; 4 - организация санитарно-защитной зоны (СЗЗ) водоносного горизонта; 5 - организация экологического мониторинга; 6 - рекультивация водоносного комплекса после завершения отработки;

- предложена и обоснована на практике методологическая основа изучения технологических свойств руд, гидрогеологических и экологических условий при подготовке месторождений к отработке способом ПВ.

**Практическая значимость.** Реализация результатов работы произведена в период с 1992 по 2009 годы при разработке проектов, опытных испытаниях, разработке ТЭО кондиций и эксплуатации месторождений Гагарского, Маминского, Верхотурского, Гумешевского, Рогожинского, Кировградские и Мелеузовские пиритные огарки, россыпях В.Велс, Фартовая, Лево-Татьянинский Увал. Созданные прецеденты и опыт ПВ в корях выветривания, затопленном руднике, в техногенных образованиях, россыпях способствуют расширению области практического применения способа ПВ для отработки неостребованных запасов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации обсуждены на: ежегодных совещаниях золотопромышленников Урала, Екатеринбург - 1995-2007, на Конференции, посвященной 85-летию геологической службы Урала, Екатеринбург - 2005, на горно-геологическом деловом форуме «Mainex», г. Миасс - 2007, г. Москва - 2007, на международной конференции «Комбинированная геотехнология» г. Учалы - 2006, г. Сибай - 2007, на международной конференции «Кучное и подземное выщелачивание урана, золота и других металлов», Москва - 2005, на научно-практической конференции «Неделя горняка», Москва - 2008, на Второй научно-практической конференции «Повышение качества выпускаемой продукции и сниже-

ния себестоимости производства на ОАО «Уралэлектромедь», Верхняя Пышма-2007, на всероссийской научно-технической конференции «Проблемы радиохимии и химической технологии в атомной промышленности», г. Екатеринбург - 2008.

**Публикации.** Основное содержание диссертации отражено в 60 работах: в 21 статьях и докладах, в том числе 7 статей в изданиях по перечню ВАК, в 12 заявках на изобретения, 27 работах научно-прикладного значения на правах рукописи.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 185 наименований. Работа изложена на 320 страницах текста, содержит 18 рисунков и 50 таблиц.

Работа выполнена в Уральской горно-металлургической компании. Автор признателен руководителям горно-геологического производства УГМК Рудому Г.Н., Ашихину В.В., Хафизову Т.М., Морозкову В.Е., Сурганову А.В. за критические замечания и полезные советы.

Автор выражает глубокую благодарность за наставничество при выполнении работы Тарханову А.В., Фазлуллину М.И., Никольскому А.Л., Заварзину В.А.

Особую благодарность автор выражает ведущим специалистам в области геологии, гидрогеологии и экологии, определяющим современную политику развития горно-геологической отрасли Урала - Хрыпову В.Н., Алешину Б.М., Новикову В.П., за конструктивную критику, методическую помощь и моральную поддержку.

На всех объектах Урала и Красноярского края автор находил поддержку и практическую помощь, за что признателен сотрудникам геологических, гидрогеологических и экологических служб.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы ее цели и решаемые задачи, указаны научная новизна, практическая ценность.

В первой главе «Современное состояние и перспективы развития способа подземного выщелачивания металлов» проведен анализ литературных данных по использованию в мировой практике способа кучного выщелачивания, имеющего в технологических и экологических аспектах много общего со способом ПВ. Анализ состояния и перспективы способа ПВ, за исключением ПВ урана, проведен в основном по собственным материалам автора.

Добыча полезных ископаемых – одна из первооснов существования человеческой цивилизации. Неизбежное истощение запасов руд – одна из проблем современной мировой экономики. На современном этапе разработчикам недр всего мира приходится обращаться к сырьевым объектам более мелким по запасам, находящимся в неблагоприятных горно-геологических и экономических условиях, с труднообогатимыми и бедными рудами, с более жесткими условиями по охране окружающей среды.

Традиционные способы добычи и переработки: горная добыча с последующим обогащением и заводским пирометаллургическим или гидрометаллургическим переделом – во многих случаях оказываются нерентабельными. Эти тенденции подвигают недропользователей к поиску новых способов добычи, совершенствованию технологий, технических средств и природоохранных мероприятий. Преимущество в преодолении названных проблем имеют геотехнологические способы добычи. Главное их преимущество заключается в приближении технологических переделов к месту залегания руд и значительном уменьшении объема операций по механическому воздействию на руду.

Геотехнология золота в настоящее время наиболее широкое развитие на Западе получила в виде кучного выщелачивания. В широких масштабах способ используется в практике горнодобывающих предприятий США, Канады, ЮАР, Австралии, КНР, Мексики и др. Только в США в настоящее время действует более 100

промышленных предприятий КВ с производительностью от 0,1 до 3-5 млн.т горной массы в год.

В настоящее время в РФ преодолены главные проблемы, связанные с сырым климатом, КВ золота получило в РФ широкое развитие. Опыт КВ используется при внедрении подземного выщелачивания металлов.

Подземное выщелачивание цветных и благородных металлов получило импульс в 90-е годы, когда кризисная ситуация требовала сверхэкономичных решений в добыче металлов, а высвободившиеся из урановой отрасли специалисты искали приложения своего опыта в сложившихся экономических и политических условиях.

Первым успехом стал проект ПВ окисленных руд в коре выветривания Гагарского золоторудного месторождения. Месторождение практически отработано способом ПВ в весьма нетипичных условиях полуобводненных руд, в открытой гидрогеологической системе и в положении жесточайшей экологической ответственности.

Гагарский опыт получил развитие еще на 3-х месторождениях Среднего Урала (Маминское, Верхотурское, Долгий Мыс). Востребовано ПВ и для погребенных и глубокозалегающих россыпей. Опытные работы проводились и проводятся в Красноярском, Пермском краях.

Успешно отрабатываются окисленных медные руды в зоне затопленного рудника Гумешевского месторождения. Отработка ведется в исторически напряженном районе по экологическим условиям. При этом проект позволяет улучшить экологическую ситуацию.

На Точильногорском и Рогожинском месторождениях получены принципиальные результаты ПВ никеля из силикатного типа руд.

Начата реализация проекта выщелачивания металлов (золота, меди, цинка и др.) на месте залегания из отвалов пиритных огарков.

В совокупности достигнутые результаты по ПВ позволяют прогнозировать широкие перспективы его применения способа ПВ.

Во второй главе «Физико-химические основы процесса подземного выщелачивания золота» проведен анализ литературных данных различных растворителей золота и, исходя из авторского опыта, дана оценка их применимости для

подземного выщелачивания. Сравнивались цианиды, тиокарбамиды, тиосульфаты, иодиды, бромиды, оксихлориды, а также органические растворители. Сравнение велось по 14 критериям: характеризующим химизм процессов (селективность, устойчивость комплексов, кинетика и др), экологичность, стоимость, доступность и освоенность промышленностью.

1) По совокупности благоприятных критериев наибольшее преимущество отдается оксихлоридам, для которых основные ограничения связаны с расходом реагентов. Для руд с повышенной сульфидностью весьма перспективна тиокарбамидная схема. Например, для пиритных огарков, в которых остаточное содержание сульфидной серы составляет 1-4%, не удалось подобрать режим выщелачивания по оксихлоридным схемам по причине высокого расхода окислителя. По тиокарбамидной схеме эта проблема преодолена за счет использования в качестве окислителя трехвалентного железа, переходящего в раствор из огарков.

2) Тиосульфатная технология требует использования композитного состава растворов, обеспечивающего устойчивость золотых комплексов, подавление паразитных реакций, обеспечение необходимого окислительного потенциала. Это весьма трудная задача, так как при ПВ имеет место постоянное изменение состава растворов в процессе выщелачивания. При оптимизации состава растворов применительно к конкретным рудам данная технология вполне может конкурировать с тиокарбамидной и оксихлоридной вследствие относительной дешевизны реагентов, а также попутного выщелачивания серебра.

3) Использование цианидов при ПВ проблематично по экологическим ограничениям, хотя такие прецеденты имели место в Австралии и в СССР (ИРГИРЕД-Мет). Наиболее вероятно использование цианидов при выщелачивании в хвостохранилищах, где могут быть обеспечены условия герметичности от окружающих водонесных горизонтов.

Фактор времени, играющий при ПВ важную роль, может снивелировать низкую кинетику органических растворителей, и они могут стать самыми безопасными в экологическом аспекте реагентами.

5) Бромиды и иодиды вряд ли смогут конкурировать с оксихлоридами вследствие их высокой стоимости. Основным направлением преодоления этого фактора

является поиск природных источников этих растворителей и технологических приемов их регенерации.

Глава 2 завершается анализом мирового опыта оксихлоридного выщелачивания благородных металлов и литературным обзором химизма растворения золота в растворах, содержащих активный хлор.

В третьей главе «Геологические, гидрогеологические, технологические и экологические особенности месторождений цветных и благородных металлов как объектов отработки способом ПВ» в результате анализа специфических особенностей месторождений, которые в настоящее время обрабатываются или готовятся к отработке способом ПВ, автор пришел к заключению, которое выдвигается в качестве первого защищаемого научного положения: «Увеличение сырьевой базы цветных и благородных металлов в горнодобывающих провинциях может быть обеспечено применением способа подземного выщелачивания руд в корах выветривания, затопленных рудниках, техногенных образованиях, в совокупности образующих новый промышленный тип месторождений».

Общая характеристика данного промышленного типа:

- наименование – экзогенно-техногенный в водопроницаемых породах;
- морфологический тип вмещающих пород – коры выветривания и техногенно нарушенные массивы (зоны техногенеза);
- минеральный тип руд – руды с выщелачиваемыми и слабо упорными минеральными формами (вскрытое золото и серебро, оксиды, карбонаты, силикаты меди, цинка, оксиды и силикаты никеля).
- среднее содержание металлов – бедные и убогие руды;
- экологические условия – открытые гидрогеологические системы в корах выветривания, расположение в экологически напряженных районах.

Вопрос о возможности и целесообразности использования способа ПВ для отработки данного промышленного типа возникает изначально по причине непригодности их для отработки традиционными способами. Общеизвестна трудная обогатимость руд в корах выветривания. Кора выветривания золоторудных месторождений содержат, как правило, тонкодисперсное золото, которое не извлекается методами обогащения. Так, достаточно богатые по золоту, так называемые

«железные шляпы» колчеданных месторождений, чаще всего складировались на бортах карьеров. Многие месторождения в корях выветривания имеют низкую продуктивность руд (менее 1г/т), которая не позволяет обрабатывать их даже способом КВ.

Практически нет способов обогащения окисленных медных руд. Очень показательны пример Гумешевского месторождения, где 300 лет велись разработки, а окисленные руды остались нетронутыми за исключением малахитовых рудных тел.

Не существует технических способов обогащения силикатных никелевых руд. Запасы балансовых руд этого типа, пригодных для пирометаллургических способов переработки, истощаются. В связи с этим возникает потребность использования геотехнологических способов добычи. Примером таких тенденций может служить проект на месторождении Калдаг в Турции, где никель из латеритных руд извлекается кучным выщелачиванием. На Урале по климатическим условиям способ ПВ вполне может конкурировать с кучным выщелачиванием, что подтверждается опытами по ПВ на Рогожинском и Точильногорском месторождениях.

Сам факт затопления рудников свидетельствует об отсутствии технических и экономических возможностей их дальнейшей обработки традиционными способами. Данное утверждение справедливо и для большинства техногенных образований, так как они сформированы из отходов добычи традиционными методами (отвалы, хвостохранилища). Практически все затопленные рудники, отвалы и хвостохранилища имеют утечки загрязненных вод, что предопределяет необходимость решения экологических проблем. Выщелачиванием на месте залегания таких образований позволит их в определенной мере обезвредить.

**Пригодность** месторождений к обработке способом подземного выщелачивания и технико-экономические показатели добычи определяются специфическим комплексом факторов.

**Водопроницаемость** (решающий фактор) определяет практически все важнейшие параметры процесса: концентрацию металла в растворе, время выщелачивания, расстояние между элементами СР, кинетический режим выщелачивания и рекультивации. В корях выветривания водопроницаемость руд и пород является приобретенным свойством, так как они являются продуктом физико-химического раз-

рушения первичных пород и руд. Сочетание приемлемых фильтрационных свойств и вскрытости полезной минерализации в корях выветривания наиболее благоприятно по сравнению с любыми другими первичными типами руд.

В затопленных рудниках высокую водопроницаемость могут иметь потери балансовых руд, обрушившиеся забалансовые руды, растрескавшиеся боковые породы горных выработок, материалы закладки. Фильтрационные свойства в отвалах некондиционных руд также, как правило, высоки. Доступность минерализации для выщелачивающих растворов зависит от многих факторов и чаще всего является одним из главных лимитирующим факторов.

В хвостохранилищах вскрытость материала - высочайшая, а водопроницаемость может быть ограниченной.

Коэффициент фильтрации, а также косвенные параметры его определяющие (сумма глинисто-алевритовых частиц) приняты в современных инструкциях как кондиционные показатели. При ПВ урана предельный Кф принимается на уровне 0,5-1,0 м/сут, сумма глинисто-алевритовых частиц - на уровне 25-30%. На забалансовых по этим критериям (Кф менее 0,5 м/сут, содержание глинисто-алевритистых частиц 30-50%) рудах Гагарского, Маминского, Верхотурского, Гумешевского месторождений ведутся успешные испытания и промышленная добыча металлов. Таким образом, результаты внедрения ПВ в корях выветривания не только показали принципиальную возможность применения способа ПВ, но и расширили возможности данного способа по фильтрационным свойствам.

**Обводненность руд** до недавнего времени относилась исключительно к решающим факторам. Считалось невозможным выщелачивание необводненных залежей. Успешный опыт обработки необводненных руд на уральских месторождениях в корях выветривания позволяет понизить уровень значимости данного фактора. Для обводненных и необводненных руд необходимо применение принципиально разных СР, основанных на фильтрационном и инфильтрационном механизме движения растворов. Вместе с тем, наличие водоносного горизонта - это обязательное условие применимости способа ПВ в корях выветривания. При обработке необводненных руд зеркало подземных вод является необходимой составной частью СР, а именно - местом сбора инфильтрующихся растворов.

В эродированной части Уральских гор коры выветривания имеют, как правило, частичную обводненность. Глубина уровня подземных вод не превышает 20-25 м (Гагарское 19-22 м, Маминское – 10-12 м, Верхотурское – 15-18 м, Гумешевское – 0-20 м). Соотношение обводненных и необводненных руд на этих объектах близко к 1:1.

В гористой местности положение уровня может стать серьезным препятствием для применения ПВ. Так, на месторождении Горный Прииск (Башкортостан) мощные золотоносные коры выветривания обводнены только на глубине около 200 м. Принципиально ПВ здесь возможно в инфильтрационном режиме, но трудно осуществимо технически.

Для подавляющей части территории Урала уклоны поверхности подземных вод, как правило, не превышают  $n \cdot 10^{-2}$ . Такие уклоны предполагают спокойный режим естественного потока подземных вод, не являющийся серьезным препятствием для устранения его возможного влияния на контур выщелачивания.

Для отвалов обводненность руд – необязательное условие. Выщелачивание отвалов на месте залегания является суть кучным выщелачиванием. Хвостохранилища, как правило, обводнены, или могут быть искусственно заводнены, так как имеют искусственное водоупорное основание.

В целом в корях выветривания имеет место высокая *литолого-фильтрационная неоднородность* (определяющий фактор), что весьма неблагоприятно для подземного выщелачивания. Но неоднородность имеет закономерности, характерные для практически всех типов рудных месторождений. Приведенный на рис. 1 разрез Гагарского месторождения является типичным для кор выветривания.

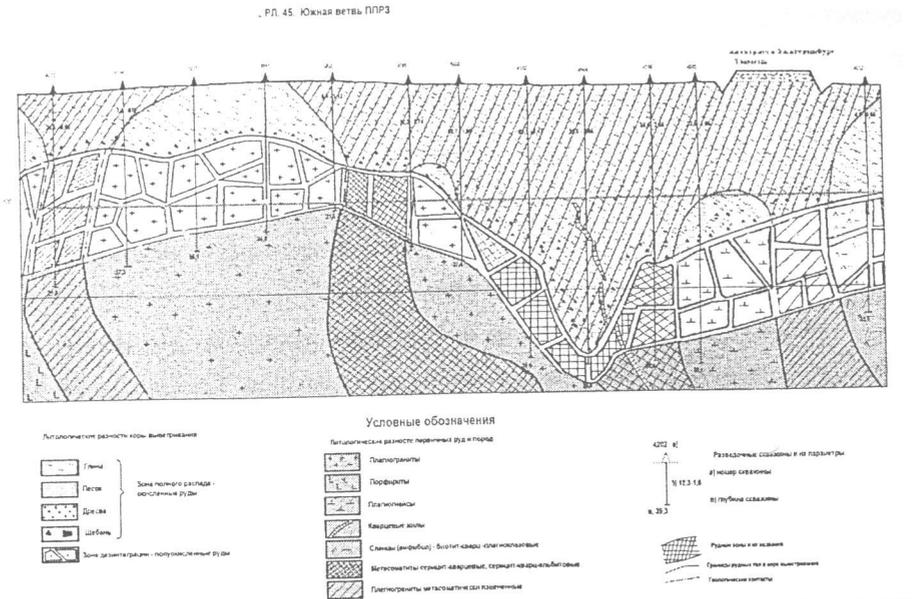


Рис. 1. Геологический разрез приповерхностной пластообразной рудной залежи Гагарского месторождения. Масштаб - 1:250

Первый порядок литолого-фильтрационной неоднородности в разрезе определяется наличием двух литологических слоев: зоны полного химического разложения (ЗПР) и зоны дезинтеграции (ЗД). В ЗПР преобладают литологические разности, состоящие из частиц класса глин, алевритов и песков. Фильтрационные свойства ЗПР минимальны: от водоупорных до  $N \cdot 0,1$  м/сут. ЗД представлена дресвяно-щебенистыми разностями, с подчиненным количеством глинисто-песчаного материала. ЗД совместно с подстилающей зоной трещиноватости может иметь коэффициенты фильтрации (м/сут) вплоть до первого десятка.

К неоднородности второго порядка относится закономерное постепенное укрупнение гранулометрического состава пород внутри ЗПР и возрастание фильтрационных свойств сверху вниз. По латерали литолого-фильтрационная неоднородность не имеет закономерных изменений для всех типов месторождений.

На известных золоторудных месторождениях в ЗПР резкая литологическая смена руд проявляется в виде наличия прокварцованных сильно трещиноватых скальных останков с аномально высокой проницаемостью среди песчано-глинистых

разностей. На Гумешевском месторождении меди в плане выделяются типы руд существенно различными фильтрационными и технологическими свойствами, следующими различия состава первичных типов руд: скарнов, скарноидов, оруденелых диоритов. На месторождениях силикатного никеля, например Рогожинском, изменчивость в плане связана с удаленностью от осевого шва тектонической зоны, по которой развивалось выветривание. Еще одной причиной неоднородности в плане на разных гипсометрических уровнях является различная глубина развития коры выветривания на разных участках месторождения.

Наиболее благоприятно для любых месторождений превышение фильтрационных свойств руд по сравнению с пустыми породами. В этом аспекте коры выветривания практически всегда имеют более проницаемые руды по сравнению с вмещающими породами. Это объясняется тем, что процессы выветривания более интенсивно развиваются по рудным зонам, для которых характерно повышенное содержание сульфидной минерализации. Наиболее выраженным примером в этом плане являются «железные шляпы» колчеданных месторождений, представляющие собой остаточный субстрат после природного окисления сульфидов и выщелачивания других минералов продуцированными сернокислыми растворами.

При выборе СР пренебрежение выявлением закономерностей литолого-фильтрационной неоднородности руд не только не способствует повышению эффективности процесса выщелачивания, но и может привести к отрицательным результатам. Например, размещение закачных модулей СР в наименее проницаемых зонах - едва ли не единственное решение, которое можно применить для исключения неравномерной проработки массива. На всех объектах в корях выветривания, обрабатываемых в настоящее время способом ПВ, эти обоснованные решения применяются. Таким образом, выявленные закономерности строения кор выветривания становятся инструментом для рационального ведения технического процесса отработки.

Фильтрационная неоднородность в затопленных рудниках - это одно из главных препятствий для эффективного выщелачивания. Необходимо решить главную задачу - избежать неуправляемой циркуляции растворов по открытым горным выработкам. В отвалах негативное влияние этого параметра - более решаемая зада-

ча. Однородность материала в хвостохранилищах наиболее высокая по сравнению с любыми другими месторождениями.

*Наличие водоупоров* - весьма благоприятный фактор определяющего уровня. На месторождениях в корях выветривания наиболее характерна ситуация, когда имеет место только нижний, относительный водоупор. Опыт работы доказывает, что для реализации способа ПВ в корях выветривания наличие нижнего водоупора не является обязательным. Это связано с общим принципом применяемых СР, характеризующихся расположением фильтров откачных скважин в самых нижних частях залежи, перехватывающих вертикальный поток. Наиболее убедительным в этом плане является проект на Гумешевском месторождении, где отработка ведется до определенной глубины.

Для кор выветривания более важным было бы наличие боковых водоупоров. Максимум, чего можно ожидать - это два боковых водоупора для линейных кор выветривания. Боковые водоупоры имеют место на Гумешевском месторождении, где основная часть залежи ограничена водоупорными известняками и диоритами. Подобное строение имеет Рогожинское месторождение силикатного никеля, где руда сформирована в зоне крутопадающего разлома.

Площадные коры выветривания в общем случае боковых водоупоров лишены. Такая ситуация имеет место на всех золоторудных месторождениях Урала. Водоупоры используются в СР для ограничения растекания растворов из экономических и экологических соображений. Второе для месторождений в корях выветривания имеет доминирующее значение. Сам факт 15-летней отработки способом ПВ Гагарского месторождения в пределах эксплуатируемого месторождения питьевого качества свидетельствует о возможности вести процесс эффективно и безопасно в экологическом аспекте и без наличия водоупоров.

*Реагентоемкость руд* также определяющий экономику фактор. Для применяемых в настоящее время технологических схем принципиальное значение имеют кислотоёмкость (КЕ) и восстановительная ёмкость (ВЕ) руд и пород. По обоим этим параметрам коры выветривания в той или иной степени кондиционированы, так как самые активные поглотители кислот и окислителей, соответственно карбонаты и сульфиды, вынесены из коры выветривания.

Кислотоемкость руд в отсутствие карбонатов определяется в первую очередь глинистыми минералами и гидроксидами железа. Эти минералы реагируют с кислотами неактивно, поэтому всегда имеется возможность выбора режима, минимизирующего расход кислоты. Например, на Гагарском месторождении, при наличии таких кислотоемких минералов реально процесс ведется с очень низким расходом кислоты за счет сбалансированной кислотности выщелачивающих растворов. На других объектах, где требуются более жесткие режимы, кислотоемкость достигает 50-80 (Гумешевское) и 150-200 кг/т (Рогожинское).

Присутствие сульфидов даже в количестве 1,0-2,0% делает проблематичным выщелачивание золота из-за дороговизны окислителей (хлора). При отсутствии сульфидов главным поглотителем окислителей является двухвалентное железо других минералов. Но оно также менее активно, поэтому процессом можно управлять. Наименьшей восстановительной емкостью обладают выветрелые руды месторождений в кислых породах (Гагарское, Верхотурское – граниты). Средние и основные породы имеют более высокую восстановительную емкость (Маминское, туфы).

Возможность отработки мелких месторождений и рудопоявлений золота в корах выветривания с бедными рудами доказана Гагарским проектом, где идет экономически эффективная добыча забалансовых руд с содержанием около 0,5 г/т. Прогнозные ресурсы золота в корах выветривания уральского региона по оценкам специалистов превышают сотню тонн. При целенаправленном изучении такого типа месторождений, использовании опыта действующих предприятий ПВ, привлечении новых научных достижений эти месторождения призваны стать базой, которая продлит золотодобычу на Урале еще не на один десяток лет.

Остаточные запасы металлов в затопленных рудниках Урала значительны. Например, на месторождении Левиха остаточные запасы меди и цинка, пригодные для ПВ оцениваются в 50-60 тыс. т. Уникальным в этом плане является затопленный рудник на золоторудном месторождении Советское (Красноярский край), где остаточные запасы сопоставимы с извлеченными за 90 лет по количеству (90 тн) и качеству 1-2 г/т.

Накопившиеся запасы полезных компонентов в отвалах и хвостохранилищах также велики. Более того, это возобновляемые запасы. Оценочные ресурсы меди в подобных объектах уральского региона превышают миллион тонн.

Таким образом, по решающим и определяющим факторам месторождения в корах выветривания, в затопленных рудниках и техногенные месторождения горнорудного происхождения благоприятны для их отработки способом ПВ. По прогнозным ресурсам данная группа месторождений способна обеспечить объем добычи, соответствующий промышленному типу.

В четвертой главе «Особенности систем разработки подземным выщелачиванием месторождений цветных и благородных металлов» обобщен опыт и предложения автора по СР месторождений в корах выветривания способом ПВ применительно к выделенным ГТР.

Обобщения, разработанные автором в процессе подготовки и эксплуатации месторождений в корах выветривания способом ПВ позволяют сформулировать второе защищаемое положение: «Выделены геотехнологические типы разрезов месторождений в корах выветривания, применительно к которым обоснованы и апробированы на эксплуатирующихся месторождениях варианты СР способом ПВ».

Одним из первоочередных значений для эффективной реализации процесса ПВ является правильный выбор СР. Проанализировав известные определения СР, а также современный опыт ПВ в корах выветривания автор счел возможным дать собственное определение: «система разработки ПВ – это совокупность вскрываемых выщелачиваемый блок горных выработок, обеспечивающих возможность контроля и управления гидродинамическим и технологическим режимами при отработке и рекультивации блока». В данной редакции вместо понятия «скважина» введено понятие «горная выработка», что более точно отражает последние достижения СР. Добавлен также фактор контроля процессов, что весьма злободневно в аспекте требований по охране окружающей среды.

Для характеристики геологической среды, которая при ПВ является природным технологическим аппаратом, М.В. Шумилиным, Н.Н. Муромцевым введено понятие геотехнологический тип разреза. Геотехнологический тип разреза – это

совокупность характерных геологических, гидрогеологических, гидродинамических и технологических условий, распространенных на некоторой части месторождения, пространственно обособленной от участков месторождения с другими условиями, требующими применения разных СР. В данном определении из прагматических соображений автор счел нужным добавить последнее уточнение.

Наиболее важными геолого-гидрогеологическими характеристиками для выделения ГТР являются условия залегания и морфология рудных тел, сплошность оруденения, взаимоотношение рудных тел с вмещающими породами, фильтрационная неоднородность, положение рудных тел относительно УГВ, направление и скорость движения естественных потоков подземных вод, наличие водоупоров. В технологическом аспекте ГТР характеризуются наличием и пространственным взаиморасположением технологическим сортов руд (ТСР), предполагающих необходимость и возможность применения разных режимов выщелачивания. Особое значение может оказать на выделение ГТР техногенное и экологическое состояние горного массива.

В природе существует великое множество геотехнологических разрезов, к каждому из которых требуется индивидуальный подход при реализации ПВ. Автор предложил классификацию ГТР для кор выветривания. Основное предназначение классификации - создание узнаваемых для специалиста образов ГТР, предполагающих применение определенных СР. В иерархической структуре ГТР (табл. 1) выделено два уровня: группа и класс.

На первом иерархическом уровне ГТР разделяются на группы по 2-м факторам: неоднородность разреза по технологическим свойствам и положение уровня грунтовых вод. В этих группах ГТР требуются принципиально разные решения по СР. Первый фактор предполагает наличие в разрезах разных ТСР. По данному фактору выделены технологически однородные (О), закономерно неоднородные (ЗНО)

Иерархическая таблица ГТР кор выветривания

Иерархический уровень	Классификационный признак	ГТР	
		Индекс	Наименование
Группа	Технологическая неоднородность разреза	О	Однородные по технологическим свойствам руды
		ЗНО	Руды с закономерной (вертикальной и/или горизонтальной) неоднородностью
		БНО	Руды с негеометризуемой неоднородностью
	Положение руд относительно УГВ	Кугв	Руды частично обводнены
		Нугв	Руды в основном обводнены
		Вугв	Руды преимущественно сухие
Класс	Экологическая напряженность.	1	Застойный режим, связь с внешней гидросферой отсутствует.
		2	Возможна связь с внешней гидросферой.
		3	Загрязнение внешней гидросферы весьма вероятно
	Фильтрационная неоднородность	1	Однородные
		2	Закономерно (вертикально и/или горизонтально) неоднородные
		3	Беспорядочно неоднородные
	Морфология рудного тела	1	Субгоризонтальные или субвертикальные тела
		2	Наклонные тела небольшого вертикального размаха
		3	Наклонные тела большого вертикального размаха

и руды с негеометризуемой неоднородностью (беспорядочно неоднородные - БНО) ГТР. Сложность требуемых СР увеличивается от первой к третьей группе ГТР. Положение уровня подземных вод разделяет разрез на обводненные и необводненные руды, требующие разных схем вскрытия горного массива. По соотношению обводненных и необводненных руд выделены следующие ГТР: «руды частично обводнены» (Кугв), «руды в основном обводнены» (Нугв), «руды преимущественно сухие» (Вугв).

Второй порядок факторов, разделяющих ГТР на классы, включает экологическую напряженность, фильтрационную неоднородность и морфологию рудных тел. Эти факторы влияют на особенности СР и конкретные технические решения.

Предлагаемой классификацией предусматривается буквенно-цифровое обозначение ГТР. Полное обозначение типа разреза составляется из аббревиатуры понятия «геотехнологический тип разреза» - ГТР, также буквенного шифра группы и цифрового шифра класса, соответствующего степени благоприятности к ПВ. Для полной информативности требуется описательная характеристика факторов уровня «класса».

Многообразие ГРТ определяет не меньшее разнообразие СР. В плане и разрезе СР определяется геометрией элементарных ячеек и их взаимным расположением. Схема расположения выработок определяется формой проекции рудного тела на горизонтальную плоскость, углом падения и мощностью рудного тела, а также направлением естественного потока и степенью обводненности руд. Эксплуатационные ячейки в плане могут иметь самую различную форму от двухвершинной до многоугольной.

Основное назначение системы вскрытия – создание необходимого по геометрии, интенсивности, скорости потока выщелачивающих растворов в рудном теле. Основные две разновидности гидродинамического режима по движущим силам - фильтрационный и инфильтрационный. Фильтрационный поток в обводненных рудах в зависимости от технических возможностей может иметь самое разное направление. Инфильтрационный поток в необводненных рудах движется под действием силы тяжести вертикально вниз. Искусственная корректировка направления движения при инфильтрационном режиме практически исключена.

Классификация СР в корях выветривания (табл.2) предложена на основе анализа опыта урановой промышленности и собственных разработок. За основу типизации СР применительно к корам выветривания приняты следующие основные различительные признаки: 1) механизм движения растворов; 2) конфигурация вскрывающей сетки горных выработок в плане; 3) расположение фильтровых частей горных выработок в разрезе; 4) тип вскрывающих горных выработок; 5) природоохранные мероприятия.

Классификация систем разработки ПВ в корях выветривания.

Классификационный признак	Иерархический уровень		Символ-индекс
	Группа	Класс	
1	2	3	4
1. Механизм движения растворов	Фильтрационные	Горизонтальный поток	Поток-Ф-гор
		Субвертикальный поток	Поток-Ф-верт
		Поток сложной конфигурации	Поток-Ф-комб
	Инфильтрационные	Вертикальный поток.	Поток-Инф-однородный
		Осложненный водоупорами	Поток-Инф-водоупор
		Осложненный слоистостью	Поток-Инф-слоистость
Комбинированные	Комбинированный поток	Поток-Ф-Инф	
2. Конфигурация вскрывающей сетки горных выработок в плане	Однокважинная	Рядная	Сетка-1скв.-ряд
		Ячеистая	Сетка-1скв.-яч
	Двухкважинная	Однорядная	Сетка-2скв-1ряд
		Двухрядная	Сетка-2скв-2ряд
	Ячеистая	Квадратная	Сетка-Квадр(с/ас)
		Прямоугольная	Сетка-Прям(с/ас)
Многоугольная	Сетка-Яч(с/ас)		
3. Расположение фильтров в разрезе	Одноуровневая	-	Фильтр-1ур
	Разноуровневая	-	Фильтр-3ур
4. Тип вскрывающих горных выработок	Скважинные	Фильтрационные	СКВ-Ф
		Инфильтрационные	СКВ-Инф
	Горные	-	ШАХТА
Комбинированные	-	СКВ-III	
5. Природоохранные мероприятия	Гидродинамические противотоки	Барражные завесы	ООС-барраж
		Реверсивные воронки	ООС-воронка
		Системы перехвата	ООС-перехват
	С искусст-ми водоупорами	-	ООС-водоупор
Дебалансные	-	ООС-дебаланс	

Наиболее инновационным в данной схеме являются классификационное подразделение систем по признаку «природоохранные мероприятия». По природоохранным мероприятиям, суть которых заключается в недопущении растекания растворов за пределы предполагаемой зоны отработки, выделяется три группы систем: «гидродинамические противотоки», «искусственные водоупоры» и «дебалансные». Общий принцип воздействий в системах с «гидродинамическими противотоками» – создание на заданном участке искусственных потоков с противоположным направлением по отношению к предполагаемому растеканию. Группа данных систем подразделяется на классы: «барражные завесы», «реверсивные воронки» и «системы перехвата».

Системы с искусственными водоупорами по определению основаны на использовании ограничивающих потоки водоупоров. Системы с дебалансом закачных и откачных растворов основаны на превышении объема откачки над закачкой. В этом случае образуется условная гидродинамическая воронка, практически исключая распространение растворов за ее пределы. Основное возможное мероприятие по необходимому размещению дебалансного объема растворов – это очистка сбросных вод до необходимого уровня. Геотехнологическая суть способа ПВ позволяет для решения этой проблемы использовать недра. Неотъемлемую часть технологии ПВ – процесс рекультивации, можно совместить с организацией дебаланса, т.е. часть рабочих растворов сбрасываются в отработанные блоки или безрудные боковые породы, где самоочищаются за счет остаточных емкостных физико-химических свойств.

Первый опыт становления и совершенствования новых СР был получен на Гагарском месторождении. ГТР для Гагарского месторождения можно охарактеризовать как «приповерхностная пластообразная частично обводненная залежь с закономерными возрастающими сверху вниз фильтрационными свойствами с двумя ТСР – собственно кора выветривания и зона дезинтеграции. Особая ответственность на СР возлагалась в связи с расположением рудной зоны в пределах эксплуатируемого месторождения питьевых вод. Горно-геологические условия Гагарского месторождения по главным характеристикам вполне типичны для месторождений в корях

выветривания. Соответственно и примененные СР могут претендовать по главным отличительным признакам на универсальность.

На месторождении использованы все три группы СР по признаку «механизм движения растворов», ячеистые по конфигурации, разноуровневые по положению фильтров, комбинированные по типу выработок, с гидродинамическими противотоками класса «барражных» и «система перехват». Факты устойчивой добычи золота и отсутствия опасных экологических воздействий на водоносный горизонт в течение 15 лет эксплуатации свидетельствуют о правильности выбора СР.

На Гумешевском месторождении меди важным отличительным признаком ГТР является пораженность рудного массива горными выработками прошлых лет. Знание всех особенностей строения ГТР позволило автору предложить принципиально новую СР: «система с развитой закачной сетью и центральным водоподъемом», которая уже частично реализуется.

Таким образом, предложенные автором СР применительно к разным ГТР находят применение в реальных проектах отработки месторождений в корях выветривания. Заложенные в СР основополагающие принципы позволяют находить необходимые решения для всего многообразия природных условий.

**В пятой главе "Экологические аспекты безопасного ведения работ по ПВ»** оценено воздействие способа ПВ на ОС в сравнении с другими способами, предложена концепция природоохранных мероприятий при ПВ МЦБМ.

В научном аспекте глава посвящена обоснованию третьего защищаемого положения: "Предложен комплекс природоохранных мероприятий в СР, при организации санитарно-защитных зон, при ведении мониторинга окружающей среды, при рекультивации водоносного горизонта, обеспечивающий экологическую безопасность предприятий ПВ цветных и благородных металлов".

Главное отличие подземного выщелачивания от традиционного горного способа добычи металлов, а также от кучного выщелачивания заключается в том, что при ПВ самый экологически опасный технологический процесс (извлечение металлов в раствор) ведется в геологической среде. Сравнительный анализ источников, видов и интенсивности воздействия при разных способах отработки позволяет уви-

деть *экологические преимущества ПВ* по всем природным субстанциям, за исключением подземных вод,

По воздействию на *атмосферу* способ ПВ по сравнению с другими может быть охарактеризован как «непыльный», «бестранспортный» и практически без выбросов газов. При ПВ *биосфера* подвергается воздействию только на территории геотехнологического полигона в отличие от горного способа, где имеют место отвалы и хвостохранилища. Ничтожность воздействия при ПВ на *горный массив и ландшафт* не требует комментариев.

Непосредственное воздействие на *поверхностные воды* прилегающих территорий при ПВ в штатном замкнутом режиме отсутствует. При горной добыче всегда имеет место сброс шахтных вод, отвалы пород, в том числе отработанные штабели кучного выщелачивания, нередко шламохранилища становятся источником возникновения загрязненных подотвальных вод.

*Подземные воды* при ПВ имеют максимальное воздействие. Принципиальная допустимость способа ПВ в этом аспекте связана с тем, что эти изменения ограничены во времени и пространстве и должны быть разработаны способы рекультивации состава подземных вод. Еще один аргумент в пользу экологичности способа ПВ заключается в том, что при отработке техногенных месторождений появляется возможность *улучшения экологической ситуации*. Учитывая, что многие техногенные месторождения являются вечными источниками негативного воздействия на ОС, выщелачивание на месте залегания позволяет очистить объекты от водорастворимых загрязняющих компонентов и рекультивировать техногенные образования за счет извлечения полезных компонентов.

*Таким образом, по совокупности факторов воздействия на окружающую среду способ ПВ по сравнению со всеми другими способами добычи можно охарактеризовать как щадящий.*

На всех стадиях изучения месторождений, при проектировании добычных модулей, при их эксплуатации разрабатывался и совершенствовался *комплекс природоохранных мероприятий* для всех аспектов способа ПВ. От проекта к проекту экологические требования постоянно ужесточались. Все ныне действующие проекты получили положительную оценку Государственной экологической экспертизы.

Принципиальные положения наработанного природоохранного комплекса стали своеобразной матрицей, по которой разрабатываются и экспертируются новые проекты.

При ПВ золота *атмосферный воздух* наиболее страдает от выбросов хлор-газа и аэрозолей, содержащих все компоненты технологических растворов, при эрлифтном раствороподъеме. Наиболее сложная задача - очистка эрлифтного воздуха. Заменой эрлифтного раствороподъема на насосный большинство проблем решается, но существует еще технологическая потребность удаления остаточного хлора для снижения нагрузок на сорбенты, которая в рациональном варианте решается через отдувку хлор-газа. Поэтому, опыт очистки эрлифтного воздуха в адсорбере надсадочного типа, реализованный на Гагарском руднике ПВ, нельзя переоценить.

Комплекс мероприятий по охране *животного и растительного мира* в совокупности предполагает на многих месторождениях улучшение экологической ситуации, так как на площадь многих поражена горными работами, а после отработки ПВ будет рекультивирована.

В качестве типовых мер по защите *поверхностных вод* от загрязнения проектами предусматриваются следующие мероприятия: 1 - исключение транзитного перетока ливневых вод с промплощадки ограждением ее нагорной дамбой; 2 - улавливание ливневых вод с полигона санитарной канавой и дамбой с низовой части; 3 - гидроизоляция основания склада реагентов; 4 - улавливание протечек из трубопроводов траншеей-лотком; 5 - организация системы экологического мониторинга.

Решения по охране *подземных вод* на каждом месторождении зависят от конкретных геолого-гидрогеологических и экологических условий. Концептуально их можно объединить в следующие группы (рис.2): 1 - применение СР и гидродинамических режимов эксплуатации, исключающих растекание рабочих растворов; 2 - комплекс технологических, гидродинамических и технических приемов, позволяющих оперативно устранять аварийные растекания; 3 - комплекс технических средств и технологических приемов очистки подземных вод от допущенных загрязнений; 4 - организация санитарно-защитной зоны (СЗЗ) водоносного горизонта; 5 - организация технологического и экологического мониторинга; 6 - рекультивация водоносного комплекса после завершения отработки.

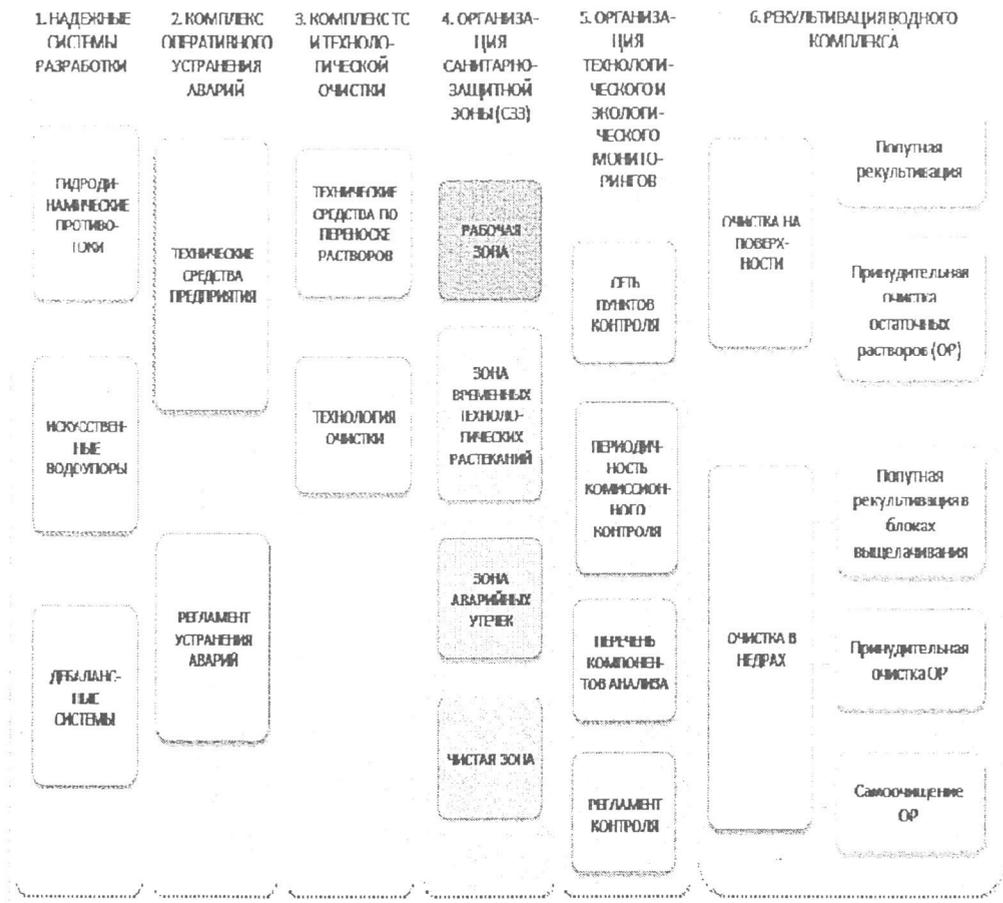


Рис. 2. Принципиальная схема охраны подземных вод при ПВ.

Первая ступень защиты основывается на изначально надежной СР, обеспечивающей замкнутый контур циркуляции растворов. Проектные расчеты СР должны учитывать выявленную неоднородность геологической среды, а также возможные отклонения от принятых моделей. Например, при разработке всех регламентов ПВ МЦБР моделировались СР с десятикратным превышением скорости естественного потока относительно установленного. Решения по СР должны обеспечивать возможность их корректировки в процессе эксплуатации и включать элементы контроля гидродинамических режимов и контура циркуляции растворов. Обязательным

условием является опробование альтернативных СР на опытной и опытно-промышленной стадиях. В совокупности эти мероприятия должны обеспечивать достаточный запас прочности СР на возможные колебания природного и технологического характера.

Вторая ступень защиты включает в себя комплекс оперативного управления гидродинамикой процесса и технический комплекс оперативной корректировки СР. Если посредством управления гидродинамикой не достигается желаемый результат, вводится в действие технический комплекс для оперативной корректировки СР (третья ступень защиты).

Устранение аварийных растеканий и очистка подземных вод от допущенных загрязнений проводят путем улавливания растворов, возврата их в технологический процесс или очистки физико-химическими приемами.

Главное назначение СЗЗ и системы мониторинга – охрана подземных и поверхностных вод от недопустимого загрязнения. Впервые проекты СЗЗ и программы мониторинга были обоснованы автором для Гагарского предприятия ПВ. На последующих объектах принципиальные концепции Гагарского предприятия по этим вопросам принимались за основу, не зависимо от авторства разработчиков. Первоначальные наработки постоянно уточнялись, дополнялись в процессе многочисленных экспертиз контролирующих органов и привлекаемых научных учреждений.

Принята СЗЗ, состоящая из четырех поясов, ширина которых рассчитывается в зависимости от скорости естественного потока. Первый пояс – рабочая зона, где допускаются регламентированные технологией изменения состава подземных вод. Второй – пояс временных растеканий, где возможны кратковременные легкоустраняемые утечки. Третий пояс – аварийных утечек, где любые утечки расцениваются как аварийная ситуация. Четвертый пояс – чистая зона, где допустимы только согласованные изменения в пределах ПДК при рекультивации.

Существенные различия в геолого-гидрогеологических условиях МЦБР по сравнению с традиционными объектами ПВ (пластовые месторождения урана), позволяют утверждать, что концептуально действующие схемы СЗЗ и системы мониторинга ПВ на рудных месторождениях является оригинальными.

Рекультивация нарушенных природных объектов. Каких-либо общепринятых утвержденных инструкций, методик по рекультивации подземных вод для способа ПВ не существует. Все решения по рекультивации подземных вод имеют статус проектных, в разработке которых автор принимал именно как разработчик основных идей и концепций.

Способы рекультивации подземных вод применительно к ПВ подразделяются на две основных группы: группа А – очистка растворов на поверхности, группа Б – рекультивация в недрах, каждая из которых имеет 2-4 класса (рис.3).

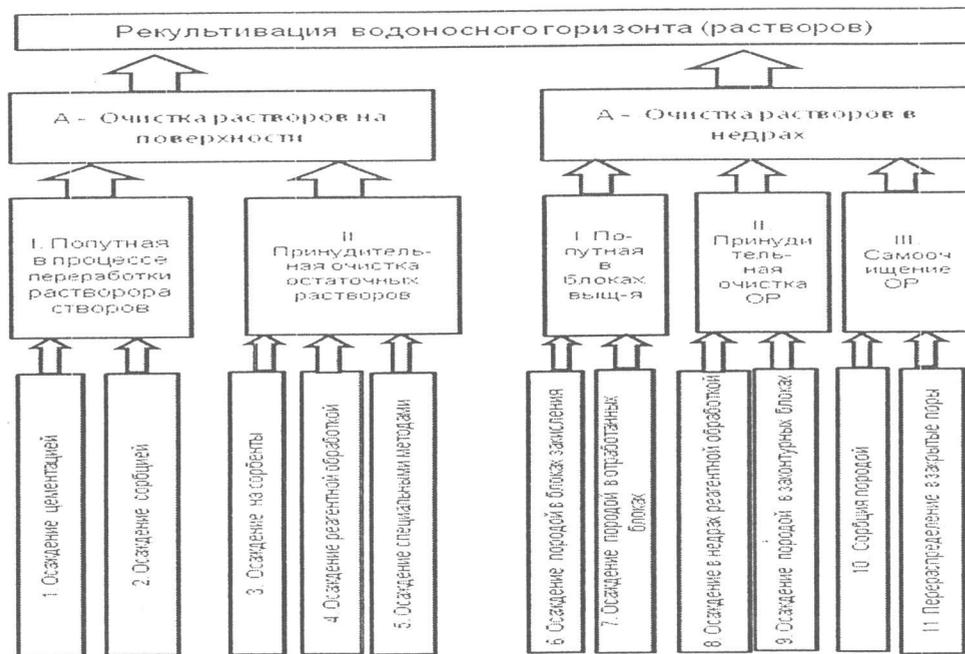


Рис. 3. Принципиальная схема рекультивации водоносного горизонта.

Специфика ПВ позволяет максимально использовать способы, в которых заключительная стадия рекультивации происходит в недрах. В этом есть преимущества способа ПВ.

Во всех проектах ПВ принята следующая концептуальная формула рекультивации водоносного горизонта, разработанная автором: «После завершения процесса выщелачивания в первой и второй зоне СЗЗ проводится восстановление естественных концентраций компонентов 1, 2, 3 класса экологической опасности (1-я ступень) и снижение концентраций элементов 4-го класса опас-

ности до уровня, исключая превышение ПДК на границе 3-го пояса и изменение исходного природного типа подземных вод по классификации ОСТ.41-05-265-86 в 4-м поясе СЗЗ (2-я ступень)».

Формула обеспечивает защиту подземных вод от наиболее токсичных компонентов на первой ступени. Всеми проектами ПВ согласована очистка остаточных растворов на второй ступени методом естественной деминерализации.

Разработан алгоритм решения задачи закрепления вредных компонентов в закрытых порах:

$$C_{\text{ср}} = C_{\text{п.в.}} \times N_{\text{общ.}} / K + C_{\text{р.з.}} \times N_{\text{диф.}}, \text{ где}$$

-  $C_{\text{ср}}$  - равновесная концентрация в расчетной зоне,

$C_{\text{п.в.}}$ ,  $C_{\text{р.з.}}$  - концентрация хлора в пластовых водах и рабочей зоне;

-  $N_{\text{общ.}}$ ,  $N_{\text{диф.}}$  - доля (от общей) активной и диффузионной пористости соответственно,

-  $K$  - коэффициент смешения растворов в активных порах.

Расчеты естественной деминерализации по хлор-иону на Гагарском месторождении свидетельствуют о том, что максимальная концентрация хлор-иона, которая будет выпущена за пределы 3-го пояса СЗЗ будет ниже регламентированного уровня.

За 15 лет эксплуатации Гагарского рудника кроме деловых рекомендаций по вопросам экологии других претензий к предприятию не было. Аналогично работают от 4 до 8 лет другие рудники ПВ. Эти факты свидетельствуют о том, что разработанный под научным руководством автора комплекс природоохранных мероприятий, обеспечивает экологическую безопасность способа ПВ в порах выветривания. Методологические основы природоохранного комплекса применимы и для других типов месторождений: затопленных рудников, техногенных месторождений, россыпей.

В шестой главе «Особенности подготовки месторождений к отработке способом ПВ» рассмотрена методология геологического изучения месторождений, потенциально пригодных для отработки способом ПВ. Исследования в этом направлении привели автора к четвертому защищаемому положению: «Специфическая особенность способа ПВ, связанная с ведением технологического процесса пере-

работки руд в геологической среде, сложные горно-геологические и экологические условия МЦБМ определяют необходимость и целесообразность более детального изучения фильтрационных, технологических свойств руд и вмещающих пород, а также экологических условий на всех стадиях геологоразведочного процесса. Обязательным условием получения кондиционных исходных данных для проектирования промышленных предприятий является проведение гидрогеологических и технологических опытов на месте залегания руд».

Опыт подготовки месторождений Урала к отработке способом ПВ позволяет автору дать определенные рекомендации по методике исследований на всех стадиях процесса и внести таким образом вклад в основы соответствующей методологической и нормативной базы. Такая база ввиду новизны проблемы практически отсутствует. Нормативная база ПВ урана вследствие существенных различий геологических условий не может полностью удовлетворить решение необходимых задач освоения МЦБМ.

Объединяющим форматом всестороннего изучения месторождений призвано стать *геотехнологическое картирование, цель которого – выделение на основе изучения изменчивости параметров и свойств ТСР и ГТР, определяющих выбор схем выщелачивания и СР способом ПВ.*

В ходе подготовки ныне обрабатываемых способом ПВ месторождений выработаны основные принципы геотехнологического картирования: последовательность решения задач, объем и детальность исследований, методы изучения, в совокупности слагающие методологическую основу по данному направлению.

*Гидрогеологические условия и фильтрационные свойства* определяют принципиальную возможность, важнейшие параметры процесса выщелачивания, а также экологическую безопасность способа.

Залогом принятия правильных решений при отработке являются качественные *гидрогеологические карты* района и месторождения. Карты должны содержать информацию о гидродинамической и гидрохимической ситуации. Специфической особенностью таких карт является дополнение их информацией об исходном состоянии объектов окружающей среды, в первую очередь поверхностных вод. Автор

считает необходимым включить в состав задач по геологическому изучению месторождения определение исходного состояния окружающей среды.

*Фильтрационные свойства* руд и вмещающих пород изучают в лабораторных условиях и в массиве. В лабораторных условиях целесообразно оценивать фильтрационные свойства для целей фильтрационного расчленения разрезов. Автор предложил и испытал несколько оригинальных методик определения Кф, адаптированных к специфическим особенностям кор выветривания, базирующихся на определении грансостава.

Интегрированные гидродинамические параметры, необходимые для разработки решений по отработке, получают при *опытно-фильтрационных работах (ОФР)*. Специфические условия кор выветривания, россыпей, техногенных объектов определяют необходимость корректировки классических методик ОФР. В связи с распространенностью необводненных руд важное значение приобретают наливывы как метод исследований. На разных объектах для решения разных задач автору приходилось испытывать самые разные приемы: наливывы в площадные модули, поинтервальные наливывы в процессе проходки скважин, опытные кустовые наливывы и др. Приобретенный опыт проанализирован в работе и непременно будет востребован.

Моделирование гидродинамического процесса ПВ в натуральных условиях с использованием индикаторов – обязательное условие успешного выбора систем и режимов отработки. В этом аспекте автором предложена и апробирована на разных объектах схема универсального гидрогеологического куста, включающего все элементы, необходимые для решения любых задач в известных из практики геолого-гидрогеологических условиях.

Для контроля за процессом широко использовались геофизические методы, такие как расходометрия, резистивиметрия, термометрия, метод заряженного тела, определение направления потока гидрокомпасом, адаптированные к характерным условиям среды.

*Особенности технологических исследований применительно к ПВ.* Конечная цель лабораторных технологических исследований – разработка технологического регламента для проектирования процессов выщелачивания руд и переработки растворов, достигается последовательным решением следующих задач.

1. Принципиальная оценка пригодности руд для выщелачивания применительно к ПВ решается тестовыми опытами в статическом и агитационном режимах. Определение того или иного вида реагентоемкости проводится как можно более близко к реальным физико-химическим условиям процесса. Практически любой вид реагентоемкости имеет логарифмическую зависимость во времени. В общем виде формула определения может быть принята в следующей редакции: «конечная реагентоемкость руд может быть оценена экстраполяцией кривой роста после выхода ее на асимптотический уровень в опытах с физико-химическими параметрами, близкими к прогнозируемым для реального процесса выщелачивания».

В тестовом режиме целесообразно определять максимальные значения выщелачиваемости, соблюдая при этом принцип подобия опытных и реальных условий выщелачивания. В качестве примера оценки упорности руд на стадии первичного анализа можно привести опыт разведки Гумешевского месторождения. Окисленные медные руды являются весьма упорными для выщелачивания. Для решения многих проблем выщелачивания из этих упорных руд важно знать долю извлекаемой меди. В процессе разведки был организован в массовом порядке анализ рядовых проб на общую и кислоторастворимую медь. В результате на месторождении учтены запасы меди двух видов.

Общеизвестна проблема тонкого золота в россыпях, которое не извлекается гравитационным способом. Автор по собственной методике проводил оценку наличия химически извлекаемого золота в песках и эйфелях на россыпях Фартовая и Лево-Татьянинский Увал, что позволило прирастить запасы за счет тонкого золота.

Результаты в тестовых опытах не являются конечными, но позволяют выделить различные сорта руд, сформировать представительные групповые пробы. В зависимости от прогнозной оценки технологических свойств автор использовал различные методические приемы: выщелачивание с постоянной концентрацией реагентов с доукреплением растворов во времени, выщелачивание с заданным удельным расходом и др.

2. Исследования по выбору технологии выщелачивания проводятся на групповых представительных пробах. Окончательный выбор технологии проводится в опытах в фильтрационном режиме. Основные методические приемы фильтрацион-

ного выщелачивания длительное время разрабатывались, совершенствовались и детально описаны в литературе по урановой тематике ПВ (Грабовников В.А., Аравин В.И., Носова О.Н., Бочевер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В. и др.). Однако, ориентированность этих методик на руды песчаного облика, не позволяет механически переносить этот опыт на исследования руд из кор выветривания. Применительно к рудам в корах выветривания автором разработана «методика псевдофильтрации» в двух вариантах: «перенос раствора на свежую навеску» и «последовательное дискретное выщелачивание навески». В обоих вариантах условия проведения моделируют фильтрационное выщелачивание частично. Это позволяет получить необходимые динамические, хорошо воспроизводимые показатели процесса в короткие сроки и с меньшими трудозатратами. С помощью таких методик в результате многочисленных опытов были найдены эффективные схемы выщелачивания медных руд Гумешевского месторождения, меди, золота и других компонентов из пиритных огарков. Окончательные параметры технологических регламентов были получены в классических опытах на фильтрационных колонках представительного объема.

3. Поиск экологически безопасных схем. Одна из задач в экологическом аспекте - оценка сбалансированного состава оборотных растворов. Наиболее подходящим алгоритмом оценки закономерностей изменения состава оборотных растворов являются «методики псевдофильтрации». С помощью таких методик был определен оптимальный равновесный состав растворов для Гумешевского месторождения: предложена воднобалансовая схема, включающая подпитку системы свежей водой и соответствующий вывод минерализованных растворов на рекультивацию.

Поскольку технологический процесс при ПВ ведется в недрах целесообразно максимально использовать свойства всех горных пород в технологических схемах. Второй блок задач - это оценка свойств вмещающих пород и выщелоченных руд как возможных детоксикантов и деминерализаторов остаточных растворов. Примером конкретных работ в этом аспекте является оценка очистительной способности выветрелых плагиогранитов, песчано-глинистого облика Гагарского месторождения. Установлено, что свойства их обеспечивают быструю нейтрализацию активного хлора, кислотности и осаждение ртути, временное закрепление хлор-иона

в закрытых порых. Результаты этих исследований использованы в проектных природоохранных решениях.

Другим примером исследований автора по очистке остаточных растворов является изучение сорбционной емкости природного торфа, являющегося вмещающими породами для техногенного месторождения «Кировградские пиритные огарки». Установлено, что практически по всем токсичным и балластным компонентам раствора торф имеет сорбционную емкость, которая может быть использована в технологическом процессе обработки месторождения (табл. 3).

Таблица 3.

Результаты определения «сорбционной емкости» торфа из-под отвала пиритных огарков

Компоненты	Содержание в исходных растворах, г/л	Содержание в растворах после очистки, г/л	Емкость торфа, кг/т	Степень извлечения, %
pH	1,85	2,84		
Eh	320	160		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	98,4	91,2	36,0	7,3
Cu	2,27	1,11	5,8	51,3
Zn	8,25	6,97	11,6	28,2
Fe <sub>общ</sub>	13,0	9,42	180	27,6
Fe <sup>3+</sup>	0,49	0,07	2,08	42,9
Mn	0,3	0,26	0,2	13,3
Ni	0,014	0,012	0,010	14,2
Co	0,047	0,039	0,04	17,0
Al	4,33	3,65	3,4	15,8
Si	0,095	0,074	1,05	22,1

*Специфика методики натурных испытаний способа ПВ рудных месторождений.* В практике урановой отрасли принята трехстадийная схема подготовки месторождений к промышленному освоению способом ПВ: опробование технологии на месте залегания, опытные испытания и опытно-промышленная обработка. Применительно к ПВ золота и цветных металлов, учитывая отсутствие достаточного опыта, трехстадийная схема тем более уместна.

Автор руководил и непосредственно проводил более 10 опытов по ПВ на месте залегания на россыпях Лево-Татьянинский Увал, Фартовая, В. Велс, в корях выветривания месторождений Гагарское, Маминское, Верхотурское, Васин (золо-

то), Гумешевское (медь), Рогожинское (никель), на техногенном месторождении Кировградские пиритные огарки (медь, золото), на осадочном месторождении Ивдельское (марганец). Практически на каждом из опытов разного масштаба приходилось адаптировать известные методические приемы к конкретным геологическим условиям, что часто приводило к появлению новых методических приемов исследований и практических предложений для промышленного использования. Ниже приводятся конкретные *примеры*.

1. Специфические геолого-гидрогеологические условия погребенных россыпей (Фартовая, Лево-Татьянинский Увал), локализованных в бортах современных речных долин определяют целесообразность использования СР, основанных на организации циркуляции выщелачивающего потока одного направления с естественным потоком подземных вод. Отличительной особенностью таких систем может быть использование в качестве откачных выработок траншей-ловушек, расположенных вниз по потоку. Результаты опытов позволили защитить новую систему разработки патентом с участием автора.

2. Неустойчивость золотого комплекса в продуктивных растворах при изменении химической обстановки не позволяет применять двухскважинный метод Грабовникова В.А. на стадии опробования технологии на месте залегания. Автор предложил и испытал свой вариант методики для решения этой задачи. Суть методики заключается в выщелачивании в режиме пассивной закачки с отслеживанием характеристик продуктивного раствора в наблюдательных скважинах. Как вариант опытная ячейка при таком подходе может состоять только из закачной скважины и одной или нескольких наблюдательных. Проведены успешные испытания на россыпях Фартовая, Лево-Татьянинский Увал и на Кировградских пиритных огарках.

3. В процессе обработки россыпи Фартовая были установлены высокие содержания золота в эфелях. Геологические условия россыпи, а также условия складирования эфелей являются благоприятными для реализации доизвлечения остаточного золота выщелачиванием в котлованном (кюветном) варианте. С целью определения принципиальной возможности и геотехнологических показателей был проведен натурный эксперимент, заключающийся в орошении штабеля эфелей хлорсодержащими растворами в котловане и сборе продуктивных растворов через скважи-

ны-шурфы. Эксперимент показал принципиальную возможность применения комбинированной технологии извлечения золота из россыпей: традиционным способом извлекается гравитационное золото, а потери в эфелях - выщелачиванием в котлованном варианте с использованием пространства карьера.

4. На Гумешевском месторождении меди опробование способа ПВ проводилось на двух ячейках. На первой ячейке испытывался фильтрационный режим по двухскважинной схеме. На второй ячейке испытывался инфильтрационный режим. Проведенные опыты на месте залегания подтвердили принципиальную пригодность Гумешевского месторождения меди к эксплуатации его способом ПВ в инфильтрационном и фильтрационном вариантах. Результаты испытаний легли в основу проекта промышленного добывающего предприятия.

5. Остаточные запасы на Рогожинском месторождении силикатного никеля представлены рудными телами ниже дна карьера и в виде отвалов некондиционных руд. Обоснованная необходимость использования технологических свойств бедных отвальных руд в технологии привели автора к идее комбинированной системы разработки, определенные отличительные признаки которой запатентованы. Суть системы заключается в выщелачивании руд в горном массиве способом ПВ с пропусканьем продуктивных растворов через отвальные руды, сложенные над рудными телами в идее штабелей. Такой подход позволяет кондиционировать растворы по балластным компонентам для дальнейшей переработки и получать дополнительный никель из отвалов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Подземное выщелачивание урана, основы которого заложены в 60-70-х годах прошлого века, в настоящее время достигло уровня индустрии, вносящей весомый вклад в экономику целых государств. Очередным этапом развития способа ПВ можно признать внедрение его для добычи цветных и благородных металлов на ряде месторождений Урала. Наиболее успешными проектами являются добыча золота из руд в коре выветривания Гагарского золоторудного месторождения и выщелачивание меди из окисленных руд в условиях затопленного рудника на Гумешев-

ском месторождении. Здесь ведется промышленная отработка с высокой экономической эффективностью. На Маминском, Верхотурском и месторождении Долгий Мыс проводятся опытно-промышленные испытания. Проведено успешное опытное опробование технологии ПВ на месте залегания золотоносных россыпей в Красноярском и Пермском краях (Лево-Татьянинский Увал, Фартовая, В. Велс). Все эти проекты были осуществлены при непосредственном участии в качестве научного и производственного руководителя автора диссертации, прошедшего школу ВНИИХТа на урановых объектах.

2. Предложены критерии выбора выщелачивающих реагентов из ряда: активный хлор, бромиды, иодиды, цианиды, тиомочевина, тиосульфаты, биорастворители – в зависимости от природного типа месторождений и экологических условий. Наиболее эффективными по комплексу факторов признаны оксихлоридные растворы, недефицитные и относительно не дорогостоящие, применяемые в широком диапазоне физико-химических условий и относительно безопасные в экологическом плане. Своевременный правильный выбор выщелачивающего реагента позволит более рационально вести исследования на разных природных типах месторождений.

3. Разработана методика факторного анализа природных условий месторождений применительно к отработке их способом ПВ, включающая группы факторов: географо-экономическое положение, геологические, гидрогеологические и экологические условия месторождений, вещественный состав руд и вмещающих пород. Оценка пригодности месторождений к отработке способом ПВ на самых ранних стадиях изучения объекта позволяет разработать более рациональный алгоритм изучения месторождений на всех стадиях.

4. Выделен новый экзогенно-техногенный промышленный тип месторождений цветных и благородных металлов, существенно увеличивающий сырьевые ресурсы горнодобывающих провинций. Объединяющим признаком данного промышленного типа является природная или техногенная подготовленность руд для добычи металлов способом ПВ. Месторождения в корях выветривания с традиционно труднообогатимыми рудами приобрели в ходе геологической эволюции благоприятные для применения способа ПВ фильтрационные и технологические свойства. Техногенные месторождения: отвалы, шламохранилища, затопленные рудники –

стали пригодными для извлечения полезных компонентов способом ПВ в результате человеческой деятельности. Запасы металлов в таких месторождениях значительны. В большинстве случаев только способ ПВ, характеризующийся высокой экономической эффективностью, способен дать начало активной разработке данного типа месторождений.

5. Разработана классификация геотехнологических типов разрезов месторождений в корах выветривания, применительно к которым обоснованы и апробированы на эксплуатирующихся месторождениях варианты СР способом ПВ.

Классификационными признаками разделения геотехнологических типов разреза на группы являются неоднородность разреза по технологическим свойствам (наличие ТСР) и положение относительно УГВ. На классы ГТР подразделяются по признакам: экологическая напряженность, фильтрационная неоднородность, морфология рудных тел. К каждой группе и классу ГТР обосновано применение определенной СР с характерными отличительными признаками по механизму движения растворов, конфигурации вскрывающей сетки горных выработок в плане, расположению фильтровых частей горных выработок в разрезе, типу вскрывающих горных выработок и природоохранным мероприятиям.

6. Разработан и апробирован на предприятиях ПВ комплекс природоохранных мероприятий по обеспечению экологической безопасности способа ПВ цветных и благородных металлов. Экологическая безопасность способа ПВ базируется на следующих позициях:

- 1) Применение изначально надежных СР и гидродинамических режимов эксплуатации, исключающих растекание рабочих растворов.
- 2) Комплекс технологических, гидродинамических и технических приемов, позволяющих оперативно устранять аварийное растекание растворов.
- 3) Комплекс технических средств и технологических приемов очистки подземных вод от допущенных загрязнений.
- 4) Организация санитарно-защитной зоны (СЗЗ) водоносного горизонта.
- 5) Организация технологического и экологического мониторинга всех объектов ОС.

6) Рекультивация подземного водоносного комплекса после завершения отработки.

Для каждой из позиций предложены, усовершенствованы в процессе апробации на разных объектах схемы, алгоритмы и регламенты реализации природоохранных мероприятий. В совокупности предложенная концепция позволяет обеспечить экологическую безопасность способа ПВ в соответствии с современными природоохранными нормами.

7. Разработана методология подготовки месторождений цветных и благородных металлов к отработке способом ПВ. В основу разработки взят опыт применительно к ПВ урана, а также опыт внедрения ПВ на МЦБМ. Специфическая особенность способа ПВ, связанная с ведением технологического процесса в геологической среде, предопределяет необходимость и целесообразность использования свойств и параметров среды для оптимизации технических, технологических и экологических решений при отработке руд. Подготовка месторождений к отработке должна сопровождаться более детальными всесторонними исследованиями не только руд, но и вмещающих пород, отвалов некондиционных руд и отходов производства, гидрогеологической и экологической обстановки в районе месторождения. Обязательным условием получения кондиционных исходных данных для проектирования добычных предприятий являются технологические испытания разного масштаба на месте залегания руд.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

### По перечню ВАК:

1. «Предварительные результаты отработки опытно-промышленных блоков скважинного подземного выщелачивания меди на Гумешевском месторождении», статья в журнале «Горная промышленность» №5, М., 2008г., с. 17-21, (соавторы: Яценко И.Э., Ситникова Т.И., Заболоцкий К.А).

2. «Односкважинный вариант опробования технологии подземного выщелачивания на примере техногенного месторождения «Кировградские пиритные огарки», статья в журнале «Горный журнал» №12, М., 2008г., с. 67-69 (соавторы: Заболоцкий К.А).

3. «Сравнительный анализ экономической эффективности применения методов выщелачивания на техногенном месторождении», статья в журнале «Мицнеральные ресурсы России. Экономика и управление», №2. М. 2009, с. 78-82. (соавторы: Заболоцкий К.А.).

4. «Подземное выщелачивание как способ обезвреживания техногенных образований», статья в журнале «Известия вузов. Горный журнал» №12, Екатеринбург 2008, с. 79-81, (соавторы: Заболоцкий К.А.).

5. «Первый в России опыт промышленной добычи золота способом подземного выщелачивания из золотоносных кор выветривания Гагарского месторождения», статья в журнале «Горный информационно-аналитический бюллетень» №1, 2009г. М, стр. 391-402, (соавторы: Докукин Ю.В.).

6. «Подземное выщелачивание никеля из силикатных руд ниже дна карьера. Предварительные результаты геотехнологических исследований», статья в журнале «Горный информационно-аналитический бюллетень» №8, 2009г. М, с.272-276, (соавторы: Заболоцкий К.А., Хамитов Р.И.)

7. Золотоносные коры выветривания как объект для добычи золота геотехнологическим способом. Статья в журнале «Известия вузов. Горный журнал» №4, с. 41-46, Екатеринбург 2009, (соавторы Волькинштейн М.Я).

#### Научные публикации в других изданиях:

8. Извлечение и перераспределение урана в песках и глинах при подземном выщелачивании из Айтымской залежи месторождения Учкудук», статья в сб. «Специальные вопросы атомной науки и техники», вып.1(4), 1983, (соавторы: Минькин М.И., Миронов Б.А., Шишкин И.И.).

9. «Извлечение и перераспределение урана в песках и глинах при подземном выщелачивании из Айтымской залежи месторождения Учкудук», статья в сб. «Специальные вопросы атомной науки и техники», вып.1(4), 1983, (соавторы: Минькин М.И., Миронов Б.А., Шишкин И.И.).

10. «Проблемы возрождения золотодобывающей промышленности Урала», статья в сб. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы европейской территории России и Урала», с. 156-157, Екатеринбург, 2000 (соавторы: Видусов Т.Э., Харькович К.А.).

11. «Подземное выщелачивание на Урале: успехи, проблемы, перспективы». Статья в сборнике «Материалы научно-практической конференции 85 лет геологи-

ческой службы Урала», 8-9 июня, Екатеринбург, 2005, с.108-110, (соавторы Савеня Н.В.).

12. «Гумешевское месторождение меди как объект отработки способом подземного выщелачивания». Статья в сб. «Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов», с.265-267. Изд-во «Руда и металлы», 2005, (соавторы: Савеня Н.В., Кравцов В.А., Агалаков В.А.).

13. «Опыт Уральской гео-технологической компании по испытаниям СР способом ПВ на месторождениях золота». Статья в сб. «Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов», с.202-203. Изд-во «Руда и металлы», 2005, (соавторы: Савеня Н.В.).

14. «Новые технологии в золотодобыче», тезисы доклада на съезде золотодобытчиков Свердловской области, Екатеринбург, 2006г.

15. «Перспективы применения подземного выщелачивания металлов в Уральском регионе», тезисы доклада в сб. «Материалы III международной конференции «Комбинированная геотехнология: масштабы, перспективы применения», (соавторы: Савеня Н.В.), с.51-55, г. Учалы Башкортостан, 2006.

16. «Комбинированный геотехнологический способ отработки рудных месторождений», тезисы доклада в сб. «Материалы IV международной конференции «Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи», (соавторы: Заболоцкий К.А., Беркович В.М.) г.Сибай Башкортостан, 2007.

17. Геологические, технологические и экологические аспекты изучения техногенного месторождения «Кировоградские пиритные огарки». Тезисы доклада в сб. Материалы делового горно-геологического Форума «Minex`07» Урал, 4-7 сентября 2007 г., Миасс: CD-R, (соавторы: Ашихин В.В., Хрепников А.А., Заболоцкий К.А.).

18. «Поиски адекватных методов отработки техногенного месторождения «Кировоградские пиритные огарки». Тезисы доклада в сб. «Повышение качества выпускаемой продукции и снижение себестоимости производства ОАО «Уралэлектромедь», с. 223-224. Изд-во «Филантроп», г. Екатеринбург, 2007, (соавторы: Заболоцкий К.А.).

19. «Комплексная переработка и использование поликомпонентных руд Урала как средство интенсификации и экологизации горно-промышленных производств». Тезисы доклада в сб. Материалы 3-го делового горно-геологического Форума «Mi-

пех'07» Москва, 3-5 октября 2007 г. SRK Consalting, CD-R, (Соавторы: Мелентьев Г.Б., Овчарова Е.С.).

20. «Ресурсно-технологические проблемы комплексного использования природного и техногенного медно-сульфидного сырья с получением попутной высоколиквидной продукции». Тезисы доклада в сб. Материалы 3-го делового горно-геологического Форума «Minex'07» Москва, 3-5 октября 2007 г. SRK Consalting, CD-R, (Соавторы: Мелентьев Г.Б., Овчарова Е.С., Малинина Е.М.).

21. «Подземное выщелачивание на Урале». Тезисы доклада на Международной научно-практической конференции «Инновационные достижения и решения для совершенствования технологических процессов на предприятиях горно-металлургического комплекса», (соавторы: Савеня Н.В.), Санкт-Петербург, 2008.

#### Патенты:

22. Авторское свидетельство на изобретение СССР 1455286, МПК<sup>7</sup> G 01 N15/08. Способ определения фильтрационных свойств пористых сред. / Петров Р.П., Мачинский А.А., Заболоцкий А.И., Кочетков В.И., Мазуркевич А.П., Пэк А.А., Щепетков В.А.; заявитель и патентообладатель – авторы - №4083165; заявл. 04.07.1986г; опубл. 30.01.89, Бюл. № 4.

23. Патент 2074958 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> E21B 43/28. Экологически чистый способ подземного выщелачивания благородных металлов, преимущественно золота и серебра, из руд на месте их залегания / Жагин Б.П., Видусов Т.Э., Заболоцкий А.И.; - заявитель и патентообладатель – авторы - №94043394/03(043498); заявл. 08.12.1994.

24. Патент 2096512 Российская Федерация, С 22 В 47/00. Способ извлечения марганца из карбонатных руд / Коньков В.А., Видусов Т.Э., Жагин Б.П., Заболоцкий А.И.; заявитель и патентообладатель – авторы - №96124176; заявл. 30.12.1996, опубл. 20.11.97 Бюл. №32.

25. Патент 2156861 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> E21B 43/28. Способ отработки полезных ископаемых подземным выщелачиванием / Заболоцкий А.И., Видусов Т.Э., Харькевич К.А. - заявитель и патентообладатель – авторы - №98104795/03; заявл. 13.03.1998, опубл. 27.09.2000, Бюл. №27.

26. Патент 2132397 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 22 В 11/00. Способ переработки шламов калийного производства, / Попов Л.М., Николаев А.Ф., Белкин

В.В., Кузнецов Н.В. Заболоцкий А.И. заявитель и патентообладатель – авторы - № ; заявл. 27.06.1999, опубл. бюллетень №18.

27. Патент 2255127 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 22 В 11/00, 15/00,3/06. Способ извлечения меди и золота из окисленных руд и техногенных отходов / Заболоцкий А.И. Агалаков И.П., Кравцов В.А., Левин В.В, Савеня Н.В - заявитель и патентообладатель – авторы - №2002132557; заявл. 03.12.2002, опубл. 27.06.2005, Бюл.№18.

28. Патент 2264535 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Е 22 В 43/28. Способ подземного выщелачивания руд цветных металлов, содержащих восстановители на месте их залегания / Гребнев Г.С., Заболоцкий А.И., Савеня Н.В., Агалаков И.П., Кравцов В.А., Левин В.В. - заявитель и патентообладатель – авторы - №2003106536/03; заявл. 07.03.2003; опубл. 20.09.2004, Бюл.№32.

29. Патент 2277169 Российская Федерация, МПК Е 21 В 43/28, Е21 В 43/00. Способ обезвреживания техногенных образований на месте складирования / Савеня Н.В., Заболоцкий А.И., Гребнев Г.С. - заявитель и патентообладатель – ООО «УГТК» – заявл. № 2004122592/03, 22.07.2004; опубл. 27.05.2006, Бюл.№15.

30. Заявка №2005111498/02(013355) Российская Федерация, МПК Е 21 В43/28. Способ выщелачивания меди и золота из сульфидных месторождений, имеющих зону окисления, на месте их залегания / Савеня Н.В., Гребнев Г.С., Заболоцкий А.И. - заявитель и патентообладатель – ООО «УГТК» – №2005111498/02(013355), заявл.18.04.2005.

31. Патент РФ № 2342446 Российская Федерация, МПК С22 В 11/00, С22 В 15/00, С22 В 3/08. Способ извлечения цветных и благородных металлов, преимущественно меди и золота, из пиритных огарков / Савеня Н.В., Гребнев Г.С., Заболоцкий А.И. - заявитель и патентообладатель – ООО «УГТК» – № 2005111499, заявл. 18.04.2005, опубл. 27.10.2006, Бюл. №36.

32. Решение о выдаче патента №2006115162/03(016485) от 23.01.08 Российская Федерация, МПК Е21В 43/28. Комбинированный геотехнологический способ отработки месторождений руд металлов / Гребнев Г.С., Заболоцкий А.И., Савеня Н.В., Суклета С.А., Криницын А.П., Заболоцкий К.А. - заявитель и патентообладатель – авторы - №2006115162/03, заявл. 02.05.2006.

33. Решение о выдаче патента №2006115189/02(016512) Российская Федерация, МПК С22В 23/00 (2006.01), С22В 3/06 (2006.01). Геотехнологический способ

выщелачивания силикатных никель-кобальтовых руд. / Гребнев Г.С., Заболоцкий А.И., Савеня Н.В., Суклета С.А., Криницын А.П., Заболоцкий К.А. - заявитель и патентообладатель – авторы, № №2006115189/02(016512), заявл. 02.05.2006.

#### Научно-производственные публикации:

34. Исходные данные для разработки технологического регламент опытно-технологических испытаний ПВ золота на месте залегания золотоносных песков месторождения россыпного золота "Лево-Татьянинский Увал". ООО «УГТК». ЗАО «Золотодобывающая компания Северная». 2000.

35. Исходные данные для разработки технологического регламента опытно-технологических испытаний ПВ золота на месте залегания золотоносных песков месторождения россыпного золота "Фартовая". ЦРПЭП. ООО «УГТК». Красноярск. 1999.

36. Заболоцкий А.И. Геологические, гидрогеологические и технологические особенности подготовки месторождений урана гидрогенного типа к обработке способом подземного выщелачивания. Диссертация на соискание степени к.г.м.н. М. : ВНИИХТ. 1987.

37. Технологический регламент опытно-технологических испытаний ПВ золота на месте залегания золотоносных песков месторождения россыпного золота "Лево-Татьянинский Увал". ООО «УГТК». ЗАО «Золотодобывающая компания Северная». Красноярск. 2001.

38. Технологический регламент опытно-технологических испытаний ПВ золота на месте залегания золотоносных песков месторождения россыпного золота "Фартовая" ЦРПЭП. ООО «УГТК». Красноярск. 2000.

39. Заболоцкий А.И., Савеня Н.В. Проект опытно-промышленного предприятия по испытанию метода подземного выщелачивания окисленных руд в зоне техногенеза Гумёшевского месторождения меди. Т. 1,4,6. ООО «УГТК», ОАО «Уралгидромедь». Екатеринбург. 2003 .

40. Заболоцкий А.И. Савеня Н.В. Дополнение к проекту оценки Первомайско-Верхотурской золоторудной площади. Опробование технологии подземного выщелачивания на представительном блоке участка Верхотурский. ООО «УГТК». ООО Верхотурский рудник. Екатеринбург. 2004.

41. Заболоцкий А.И., Видусов Т.Э. Проект строительства и организации опытно-промышленного предприятия ПВ на золоторудном месторождении Гагарском (Свердловская обл. Россия). ООО «УГТК». Екатеринбург. 1996.

42. Заболоцкий А.И., Криницын А.П. Проект разведки и опытно-промышленных испытаний геотехнологических способов отработки на Рогожинском месторождении силикатного никеля в Челябинской области. ООО «УГТК». Екатеринбург. 2005.

43. Проект предприятия подземного выщелачивания на золоторудном месторождении Маминское (Свердловская обл. Россия). «Маминская горно-рудная компания». Екатеринбург. 1999.

44. Заболоцкий А.И., Криницын А.П. Технологический регламент для разработки рабочего проекта опытно-промышленного участка подземного выщелачивания золота на IV жильной зоне месторождения Эльдорадо. ООО «УГТК». Екатеринбург. 2001.

45. Заболоцкий А.И. Савеня Н.В. Отчёт о результатах мониторинга окружающей среды опытно-промышленного предприятия ПВ на Гумёшевском месторождении меди за 2004 . ООО «УГТК». ОАО «Уралгидромедь». Екатеринбург. 2005 .

46. Заболоцкий А.И., Лебедь А.Б. Отчет о результатах лабораторных исследований по выщелачиванию полезных компонентов из пиритных огарков применительно к подземному выщелачиванию. ОАО «Уралэлектромедь». В.Пышма. 2007.

47. Заболоцкий А.И. Савеня Н.В. Результаты предпроектных геотехнологических исследований на Гумешевском месторождении меди. Отчет. ООО «УГТК». Екатеринбург. 2002.

48. Заболоцкий А.И., Гребнев Г.С. Исходные данные для разработки технологического регламента для рабочего проектирования опытно-промышленного предприятия в г.Кировград по извлечению меди и золота из пиритных огарков гидрометаллургическим способом. ООО «УГТК». 2005.

49. Заболоцкий А.И. Опытные-методические работы по оценке эффективности ПВ россыпей Кузеевского рудного района. Заключительный отчет. ООО «УГТК». Красноярск. 2001.

50. Заболоцкий А.И., Сергеев М.И. Отчет по результатам оценочных работ на Первомайско-Верхотурской площади за 2003-2004 г.г. ООО «УГТК». Екатеринбург 2004.

51. Заболоцкий А.И., Криницын А.П., Технологический регламент добычи золота из руд Верхотурского месторождения способом подземного выщелачивания. ООО «Верхотурский рудник». Екатеринбург. 2004
52. Заболоцкий А.И.. Технико-экономическое обоснование кондиций для подсчета запасов золота и попутных компонентов на техногенном месторождении «Кировградские пиритные огарки». ОАО «Уралэлектромедь». В.Пышма. 2008.
53. Заболоцкий А.И.. Отчет с подсчетом запасов золота и попутных компонентов на техногенном месторождении «Кировградские пиритные огарки». ОАО «Уралэлектромедь». В.Пышма. 2008. Заболоцкий А.И., Савеня Н.В. Технологический регламент для разработки рабочего проекта реконструкции Дуэтской ЗИФ с целью создания опытно-промышленной установки по переработке гравитационных концентратов гидрометаллургическим способом. ООО «УГТК». Екатеринбург 2003.
54. Заболоцкий А.И., Савеня Н.В. Технологический регламент для разработки рабочего проекта реконструкции Дуэтской ЗИФ с целью создания опытно-промышленной установки по переработке гравитационных концентратов гидрометаллургическим способом. ООО «УГТК». Екатеринбург 2003.
55. Заболоцкий А.И. Результаты испытаний на опытном полигоне ПВ месторождения Васин. Отчет. ООО «УГТК». Екатеринбург. 2003.
56. Заболоцкий А.И., Лебедь А.Б. Отчет о научно-исследовательской работе по моделированию процесса выщелачивания руды Южно-Кировского месторождения. ООО УГТК. Екатеринбург. 2005.
57. Заболоцкий А.И., Слива В.А. Технико-экономические соображения по доработке запасов Крылатовско - Чесноковского месторождения способом шахтного подземного выщелачивания. ООО «УГТК». Екатеринбург. 2006.
58. Заболоцкий А.И., Савеня Н.В. Технико-экономические соображения по доработке запасов месторождения Левиха способом шахтного подземного выщелачивания. ООО «УГТК». Екатеринбург. 2005.
59. Заболоцкий А.И., Савеня Н.В. Технико-экономические соображения по освоению месторождения Мпопо. ООО «УГТК». Екатеринбург 2003.
60. Заболоцкий А.И. «Опытно-методические работы по оценке эффективности отработки золотоносных кор выветривания месторождения Каталамбию способом подземного выщелачивания». Отчет. ООО «УГТК». Екатеринбург. 2000г.